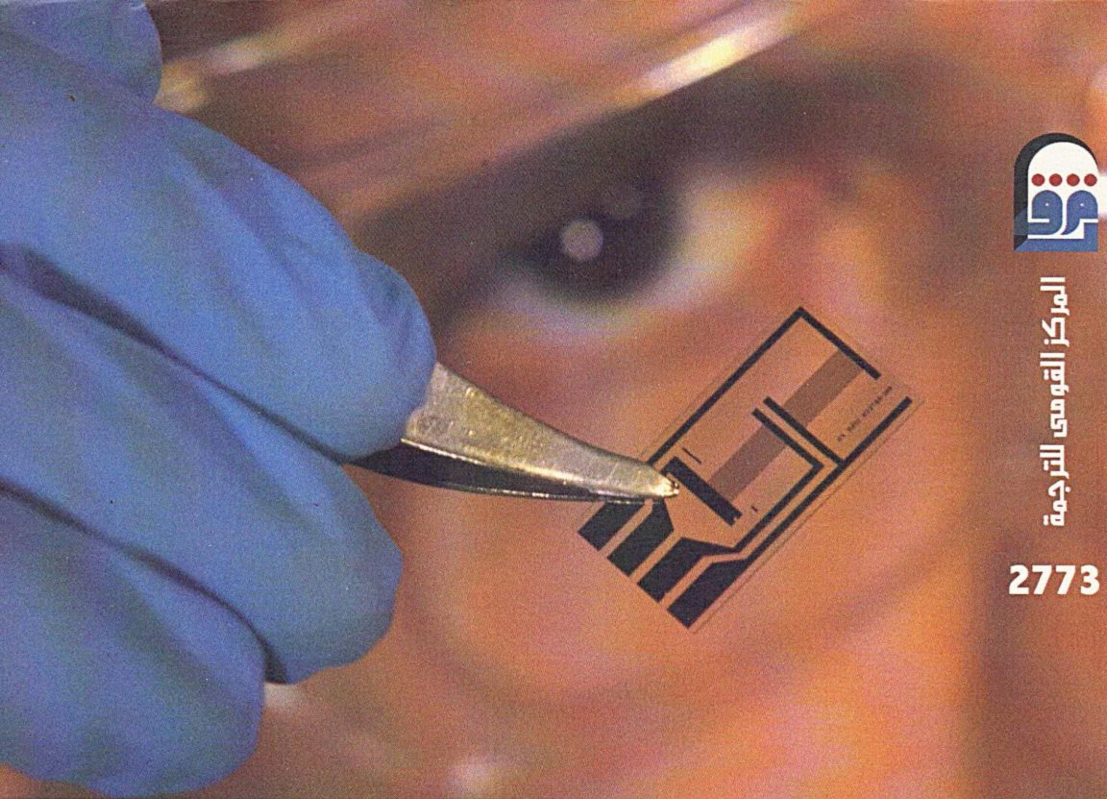


ك . إريك دريكسلر　　كريس بيترسون

جايل برجاميت

استشراف المستقبل

ثورة التكنولوجيا النانوية

ترجمة وتقديم : رؤوف وصفى

استشراف المستقبل

ثورة التكنولوجيا النانوية

المركز القومى للترجمة
تأسس فى أكتوبر ٢٠٠٦ تحت إشراف: جابر عصفور
مدير المركز: أنور مغيث

- العدد: 2773
- استشراف المستقبل: ثورة التكنولوجيا النانوية
- ك. إريك دريكسلر، وكريس بيترسون، وجايل برجاميت
- رؤوف وصفى
- الطبعة الأولى 2016

هذه ترجمة كتاب:

Unbounding the Future: The Nanotechnology Revolution
By: K. Eric Drexler, Chris Peterson & Gayle Pergamit

شارع الجبلاية بالأوبرا- الجزيرة- القاهرة. ت: ٢٧٣٥٤٥٢٤ فاكس: ٢٧٣٥٤٥٥٤
El Gabalaya St. Opera House, El Gezira, Cairo.
E-mail: nctegypt@nctegypt.org Tel: 27354524 Fax: 27354554

استشراف المستقبل

ثورة التكنولوجيا النانوية

تـألـيــــــف: ك. إريك دريكسلر ، وكريس بيترسون
بالاشتراك مع جايل برجاميت
ترجـمـة وتقـديم: رؤوف وصفى



2016

بطاقة الفهرسة
إعداد الهيئة العامة لدار الكتب والوثائق القومية
إدارة الشئون الفنية

استشراف المستقبل: ثورة التكنولوجيا النانوية/ تأليف: ك. إريك دريكسلر، وكريس بيترسون، وجايل برجاميت، ترجمة وتقديم: رؤوف وصفى.
ط١ - القاهرة : المركز القومى للترجمة ، ٢٠١٦
٤١٢ ص ، ٢٤ سم
١ - تكنولوجيا النانو
(أ) بيترسون ، كريس (مؤلف مشارك)
(ب) برجاميت ، جايل (مؤلف مشارك)
(جـ) وصفى، رؤوف (مترجم ومقدم)
(د) العنوان ٦٢٠,٥

رقم الإيداع ٢٠١٥/٨٢٥٦
الترقيم الدولى 978-977-92-0229-7
طبع بالهيئة العامة لشئون المطابع الأميرية

المحتويات

تقديم المترجم
التكنولوجيا النانوية

شهد القرن العشرون ثورات مذهلة فى التكنولوجيا؛ بسبب قدرات العلم الهائلة، وعلى الرغم من أن بعض العلماء تنبأ بنهاية العلم، بعد أن عرف الإنسان كل ما يمكن معرفته، فلا تبدو هناك أى مؤشرات توحى بذلك. إن آفاق العلم ما زالت واعدة ومُلغزة مثلما كانت فى أى وقت مضى. وفى الوقت الذى نفهم فيه المزيد من تفاصيل الطبيعة من حولنا، فإننا نكتشف المزيد من الألغاز المطلوب حلها.

وفى الوقت الحاضر، نجد أن أعظم التطورات فى العلم، تتحقق بتسخير الطبيعة حتى أصغر الأبعاد الممكنة، ولذلك فلا غرابة فى أن الفيزياء والكيمياء والبيولوجيا والعلوم الأخرى، بدأت تحيل الأحلام العجيبة التنبؤية لقصص الخيال العلمى إلى حقائق، من خلال النفاذ إلى أدق أبعاد المادة التى لا تستطيع عين الإنسان رؤيتها.

يزعم مؤيدو التكنولوجيا النانوية Nanotechnology، أنه سوف يجىء يوم يمكن فيه صنع أى شىء تقريبا بسعر رخيص. ومن خلال تطوير روبوتات نانوية Nano robots ذاتية الاستنساخ Self Replicating، قادرة على وضع ذرات المادة الواحدة تلو الأخرى، بدقة فى أماكن معينة طبقا لبرنامج محدد. كما يمكنها تفكيك المركبات الكيميائية الموجودة فى البيئة التى حولنا إلى عناصرها الأولية، ثم إعادة تركيبها ذرة بعد أخرى إلى أى شىء يمكن أن تتصوره!

إن أول مهمة تنفذها الروبوتات، هى صنع نسخ مطابقة لها، ثم تصنع كل نسخة نسخًا من نفسها، حتى تتكون ملايين الروبوتات السابحة فى محاليل العناصر الكيميائية. بعد ذلك تبدأ الروبوتات فى جمع الذرات من المحلول المجاور، وتجميعها بالترتيب أو الشكل المطلوب.

وربما يبدو ذلك مثل أحداث قصص الخيال العلمى، إلا أن التكنولوجيات اللازمة لتنفيذ ذلك يجرى تطويرها بالفعل. فالآن يتم الإنتاج التجارى لآلات أصغر من شعرة الإنسان. وبدأت الأحجام والأبعاد تتناقص بسرعة باتجاه النانو، وهو جزء من بليون "ألف مليون" جزء من المتر. وتم بالفعل إنتاج كاشفات Detectors ومحركات وصمامات وتوربينات وليزرات ومرايا نانوية.

بعض مزايا المنتجات النانوية، أنها تشغل حيزًا أقل وتحتاج إلى مادة وطاقة أقل، كما أنها سوف تكون أكثر متانة وموثوقية Reliability. وتعيش لمدة أطول. وفى ظل توفر تكنولوجيات إنتاجية مماثلة للرقائق الإلكترونية للحواسيب Computers Microchips، سوف يتيسر إنتاج الآلات والأجهزة النانوية بالجملة وبسعر رخيص نسبيًا.

ومنذ عدة سنوات، أعلن العلماء عن صنع محرك دقيق من مادة السليكون Silicon، وهو أول أداة دقيقة تعمل بالكهرباء، وتتضمن أجزاء دوّارة أصغر من عرض شعرة الإنسان، الذى يبلغ حوالى ٥, ٠ ملليمتر، وكانت هذه الأجزاء فى حجم كرات الدم الحمراء! وعندما استخدم الباحثون الكهرباء، بدأ المحرك الدقيق يدور بسرعة، ورغم أن الحركة كانت غير منتظمة، وأنه توقف بعد فترة، فإن التجربة أثبتت أن تصور المهندسين للآلات والأجهزة النانوية، يمكن أن يصبح حقيقة واقعة.

ويمكن استخدام هذه المحركات النانوية، لتناول الأجسام البالغة الدقة مثل الخلايا الفردية تحت المجهر. كما يحاول الباحثون فى المجال الطبى، التوصل إلى تصميم بنكرياس صناعى نانوى لعلاج مرضى السكر، يقوم بضخ مقادير ضئيلة من "الأنسولين" اللازم لعلاجهم حسب الجرعة المطلوبة فى مجرى الدم.

وهنا قد نتساءل: لماذا تصنع الأجزاء النانوية من مادة السليكون بالتحديد؟ الواقع أن السليكون شبه موصل ممتاز، أى مادة توصل الحرارة أفضل مما تفعله مواد كثيرة أخرى.

كما أن السليكون فى هذا الحجم البالغ الضآلة، أقوى من الصلب، وهكذا يصبح المادة المثالية للأجهزة النانوية. ورغم أنه يبدو أن السليكون سوف يظل المادة الهندسية النانوية الأساسية لعدة سنوات قادمة، فإن معادن أخرى - مثل النيكل - بدأت تبشر بالخير فى صناعة الأجزاء النانوية لبعض الأجهزة، ومن أهم هذه الأجهزة الروبوتات النانوية.

يحقن الجراح محلولاً داكنًا فى وريد المريض، هذا المحلول يحتوى على آلاف من "الروبوتات"، كل واحد منها مزود بمحرك نانوى دقيق لدفعها خلال مجرى الدم، وبمشارط جراحية بالغة الضآلة وبمجسات كهربائية دقيقة جداً، لتحديد الجلطات التى تهدد حياة المريض. وفى غضون نصف ساعة انتشرت قوافل الروبوتات النانوية فى جميع الأوعية الدموية للمريض، حتى وصلت إلى قلبه وحددت أماكن المتاعب، ثم بدأت إزالة الكتل المترسبة على جدران الشرايين.

ويمكن للروبوتات النانوية، استخدام أدوات الحفر الدوّارة أو توجيه أشعة الليزر عليها، ومن ثم إنقاذ حياة المريض. لم تستعمل - حتى الوقت الحاضر - هذه الروبوتات النانوية على نطاق واسع، ولكن تظل مثل هذه الأساليب العلاجية الطبية المتطورة، فى قائمة الآمال التكنولوجية فى القرن الحادى والعشرين. ولكن العلماء والمهندسين فى الولايات المتحدة وأوروبا واليابان، صنعوا بالفعل تشكيلة متعددة من

الأدوات الدوّارة والتروس والأجزاء الميكانيكية الأخرى التى فى حجم ذرة الغبار، ومثل هذه الأجهزة المصنوعة من السليكون أو المواد الأخرى، قد يتم تجميعها يومًا ما، فى روبوتات وآلات وأجهزة نانوية عديدة مصممة لأداء مهام خاصة.

وبجانب استخدام الروبوتات النانوية فى الأغراض الطبية، يمكنها أن تزيل رأيًا من المواد الكيميائية السامة الكثيرة من مياه الصرف، ومن ثم تسهم هذه الروبوتات فى تنظيف البيئة من التلوث. كما يمكن للروبوتات النانوية التى تعمل بالطاقة الشمسية، أن تعكس عملية تزايد غاز ثانى أكسيد الكربون - الذى تسبب فى زيادة سخونة الأرض "الاحتباس الحرارى" - بأن تحوّل جميع كميات غاز ثانى أكسيد الكربون الزائدة فى الجو، إلى كربون وأكسجين مرة أخرى.

كذلك تستخدم الروبوتات النانوية فى الإصلاحات، التى تتراوح ما بين إصلاح أضرار التآكل وترميم الشقوق الصغيرة فى أجزاء المحركات، كما تستطيع شق الأنفاق فى الأرض والصخور وتركيب الأنابيب ووضع قضبان السكك الحديدية، والزحف داخل تجهيزات المفاعلات النووية والأماكن الخطيرة الأخرى، للبحث عن أى عيوب إنشائية مهما كانت ضئيلة.

والمرجح أن الروبوتات المجهرية سوف تُستخدم لمراقبة ضغط محرك السيارات المستقبلية وتوصيل المعلومات إلى الحواسيب الدقيقة، لتساعد على التحكم فى احتراق وقود السيارات وانطلاق غازات العادم التى تلوث البيئة. وكذلك تقوم الروبوتات النانوية بقياس كل شيء، من درجات الحرارة إلى تدفقات الهواء إلى الحركة الميكانيكية.

كذلك يفكر الباحثون فى إمكان التوصّل إلى تصنيع روبوتات استكشافية نانوية، يتم تكديسها داخل سفينة فضاء تُطلق إلى كوكب آخر، حيث تقوم هذه الروبوتات بالتجول على سطحه لتجميع وتحليل عينات التربة والغازات، توطئة لإرسال سفن مأهولة إلى هذه الكواكب.

كما من المتوقع أن تصبح الروبوتات النانوية، قادرة على استخدام الطاقة الشمسية وتحويلها إلى طاقة كهربائية، ومن ثم، يمكن توفير الوقود الرخيص للسفن الفضائية، مما يجعل فى النهاية السفر فى الفضاء أقل تكلفة من السفر الحالى بالطائرات!

أيها السادة، مرحبًا بكم فى عالم المستقبل.. عالم التصغير الفائق.. النانوى. فى عام ١٩٥٩ وصف الفيزيائى "ريتشارد فينمان"، الحائز على جائزة نوبل، تصوراً لاستخدام أجهزة لصنع أجهزة أصغر منها، ثم تُستخدم تلك بدورها لصنع أجهزة أصغر منها وهكذا حتى نصل إلى مستوى الجزيئات. لم ير هذا العالم أى خطأ فكرى فى إمكانية صنع مواد بمعالجة الذرات المنفردة.. بيد أن ذلك بدا فى ذلك الوقت ابتكاراً لا لزوم له، لأن العمليات الكيميائية واسعة النطاق ستكون بالقطع أسهل وأرخص بكثير. وكان لابد من انقضاء خمسة عشر عامًا، قبل أن تبدأ أبحاث معهد ماساشوسيتس للتقنية فى اعادة النظر فى أفكار فينمان والتفكير فى طرق ما يمكن أن تؤتى بها ثمارها، وهنا بدأ ميلاد مجال جديد يسمى التكنولوجيا النانوية.

يصف كتاب "استشراف المستقبل" التكنولوجيا النانوية والتصنيع الجزيئى بتعبيرات مبَسّطة، ويُركّز على بعض السيناريوهات المحتملة لنوع الحياة المتوقعة، عندما تصبح تلك التكنولوجيا مُمكنة على نطاق واسع وأحد المؤلفين، وهو "ك. إريك دريكسلر"، ما زال مدافعًا عن التكنولوجيا النانوية وخلفياتها، منذ أول أيام له بمعهد ماساشوسيتس للتقنية، وقام بعرض أفكارها الفنية الكامنة بها فى كتابه (محركات الخلق) الذى نُشر عام ١٩٨٦، والآن انضم إليه "كريس بيترسون" و "جايل برجاميت" وألفوا كتاب (استشراف المستقبل)، حيث يحاول نشر مفهوم التكنولوجيا النانوية إلى جمهور أكثر اتساعًا.

الفكرة الأساسية للكتاب هى أن الهندسة على المستوى الجزيئى سوف توفر لنا تحكمًا أدق وأرخص على المكونات الأساسية للمادة، وعلى ذلك، فمثلا، يمكن إنتاج

رقائق من المادة تبلغ سماكتها بضعة جزيئات، وبحيث تكون فى قوة الماس. كما أنه بمقدورنا صنع أجهزة فائقة الصِغَر، بحجم الميكروبات، لتفتيت النفايات السامة وتدميرها وقتل الحشرات الضارة وعلاج الأمراض الفيروسية. ويمكن حقن بعض الأدوات النانوية المُبرمّجة فى جسم الإنسان وتوجيهها، لكى تتجه إلى خلايا الجلد لإصلاح الجروح، بينما يمكن طلاء الحائط ببعضها الآخر لعمل وحدات عرض على غرار ورق الحائط. هل تشك فى شىء الآن؟.. إن الأداة النانوية الذكية ربما لا تزيد أبعادها على عدة آلاف من النانومترات، بينما نجد أنَّ مجارى قوالب السكّ أو الخَتم التى تصنع الأقراص المُدمَّجة تبلغ حوالى (١٣٠ × ٦٠٠) نانومتر (مقارنة بـ ١٠٠٠٠٠ نانومتر لشقوق أسطوانة التسجيل الحالية). إذن نحن نعمل الآن على مقاسات فى حدود بضعة نانومترات. (والنانومتر هو واحد على ألف مليون من المتر).

يشير مؤلفو كتاب استشراف المستقبل إلى بحث معين حالى، سوف يوفر لنا فى النهاية كل هذه الإمكانات والكثير غيرها. إنهم يستخدمون التعبير "هندسة استطلاعية" لوصف عملية تصميم أدوات نانوية من مختلف الأنواع وتحليل ملاءمتها من الناحية العملية، على الرغم من حقيقة أننا لا نعرف كيف يمكن تصنيعها حتى الآن. شىء ما من الجمع بين علم الأحياء وعلم الكيمياء والفيزياء الذرية وتخصصات علمية أخرى سوف تقودنا على الأرجح إلى هناك. وعندئذ سوف نستخدم منظومات الواقع الافتراضى المتقدمة لتزويدنا بوسائل التصميم على المستوى الجزيئى. وسوف تضمن لنا الكيمياء الحديثة أنَّ الجزيئات سوف تتماسك ببعضها البعض كما هو مصمم لها، وستمكن هندسة تخليق البروتينات - وهى جزيئات - من أن تتجمّع ذاتيًا مع بعضها البعض، لتكوين جسيمات أكبر وأكثر تعقيدًا. وتقوم الأذرع الروبوتية الجزيئية بكل دقة بوضع كل ذرة فى مكانها تمامًا لتكوين أشكال فسيفسائية من الماس أو الفولاذ أو السليكون الخالص.

وسوف يتم إجراء الحسابات النانوية بواسطة قضبان وعجلات منمنمة بالمستوى الذرى، تتصل ببعضها البعض بنفس الطريقة الموجودة فى مكونات المُحرك.

وكما يقول الكتاب، فإنَّ القيود الموجودة على صنع الأدوات يجب ألا تعرقل العملية الإبداعية، وقد عانى "ليوناردو دافنشي" من مشاكل مماثلة بخصوص دقَّة الأدوات المعاصرة فى زمنه، ومع ذلك، فإنَّ المرء يشعر بأنَّ استشهاد المؤلفين بهذه السابقة الباهرة هو شيء ما أقل من التواضُع، أو البُعد عن الأنظار، الملائم للمقام.

لكن دعنا لا نكون قاسين جداً، فدافنشي شخص متعدد الثقافات بشكل رائع، وهذه الصفة تستحق الكثير فى الهندسة الاستطلاعية. وعندما يواجه المهندس الميكانيكى بموضوع تصميم أداة نانوية ما، فإنه سيقول مندهشًا "أجهزة صغيرة إلى هذا الحد؟"، بينما لو نظر كيميائى إلى نفس هذا التصميم فلعله يقول "جزيئات كبيرة إلى هذا الحد؟". وعند بحث القدرة على الطيران، فإنَّ علماء الحياة يهتمون بعلم الطيور أكثر من دراسة هندسة الفضاء. وكما يوضِّح الكتاب، فإنَّ الكيميائيين والفيزيائيين لا يعملون عادة فى مجموعات كبيرة، غير أنَّ تعقيد التصميم على المستوى الجزيئى يتطلب منهم ذلك. وقد عالجت بالفعل جامعة "كيوتو" اليابانية هذه القضية عندما أنشأت بها قسمًا لهندسة الجزيئات. نعم، هكذا فعل معهد التقانة بطوكيو. تُرى كم عدد الكليات التى اتخذت خطوات مماثلة بالولايات المتحدة: وبأى مكان آخر فى العالم؟

التصنيع الجزيئى يمكنه تخفيض تكلفة صنع السيارات والمنتجات الأخرى التى تنتجها المصانع بكثرة. ويوحى ذلك بأنَّ التصنيع الجزيئى ربما يتشابه كثيراً مع هندسة البرمجيات الحالية، حيث تركز معظم العمل فى التصميم والبرمجة، وذلك لأنَّ تكرار المنتج أمر سهل إلى حدٍ كبير.

مؤلفو كتاب "استشراف المستقبل" مهتمون كثيرا جداً بالقضايا التنظيمية والاجتماعية المرتبطة بالتكنولوجيا النانوية. وهم يقولون إن الناس سوف يجدون مشكلة جوهرية في مواجهة الاتساع الكبير للإمكانات التي تطرحها. والمزايا مثل الإسكان والصحة والنقل سوف يكون من السهل توفيرها، لكن من سيضمن أن تكون هذه هي الأولويات عند تطبيق التكنولوجيا النانوية؟. وكيف سنتعامل مع تعقيدات قضايا الملكية وحقوق التأليف والطبع والنشر؟. إنَّ هذا أصعب شيء حاليًا في بيئاتنا الثرية بالمعلومات مثل التكنولوجيا الحيوية، وسوف يكون أسوأ في مجالات الوسائط المتعدِّدة.

بيد أن الكتاب مُحبط من حيث إنه يحتوي على القليل فقط من الاستخدامات العسكرية المحتملة للتكنولوجيا النانوية أو إمكانات استخدامها في الإرهاب. كما أنه يفشل في الكشف عن المخاطر المنهجية (التي لا نراها عادة) والتي يتم "وضعها عمداً" في الكثير من الأجهزة المعقَّدة. ومعظم السيناريوهات المستقبلية المحتملة التي يطرحها نجدها "نظيفة للغاية" لدرجة أنَّ القارئ لا يكون مخطئا إذا افترض أنَّ هؤلاء المؤلفين من غلاة المتفائلين. وقراء آخرون ربما يتصورون أن استخدام التكنولوجيا النانوية والوصول إليها يمكن تنظيمه والتحكم فيه بواسطة شكل ما من أشكال وكالات الترخيص العالمية. غير أنَّ الكتاب ينفي في فقرة واحدة مهمة وملحوظة به فكرة التفاؤل من خلال اقتراح - أو ربما التصميم على - أنَّ التنظيم لا يمكن أن يكون الحل وإنما مجرَّد تدبير مؤقَّت.

وأثناء فترة التقاط الأنفاس التي يمكن أن يوفرها لنا ذلك الإجراء المؤقت، يأمل المؤلفون أن نستخدم نحن التكنولوجيا النانوية لتطوير منظومات حماية وأجهزة مناعية كافية للقضاء على الأخطار قبل أن ينفد الوقت. وهم يحذرون من، أو يؤكدون على، ضرورة عدم ترك كيفية التحكم في إمكاناتها إلى اللحظة الأخيرة (كلما أمكن ذلك)، مثلما حدث مع برنامج الفضاء الأمريكي بعد "سبوتنيك" مباشرة.

ويبعث لنا الفصل الأخير رسالة جوهرية، مفادها أنَّ الناس الذين يرون قيمة التكنولوجيا النانوية سوف يُدركون مزايا الأبحاث العامة المشتركة العلنية، وليس الأبحاث المتكتم عليها التى تتم عادة فى السر. وتتجلّى ذروة الكتاب فى الدعوة إلى "المشاركة".. وأعتقد أنَّ أول خطوة أمام أى إنسان، يهتم بسياسات التكنولوجيا المستقبلية ويقلق بشأنها، أن يُجيب تلك الدعوة، ويقرأ الكتاب.

إثر نشر كتاب "محركات الخلق" Engines of creation عام ١٩٨٦ . طرح "ك. إريك دريكسلر" "مفهوم التكنولوجيا النانوية على الرأى العام. وباستخدام أجهزة مجهرية يمكنها صنع جسيمات صغيرة للغاية بحجم الجزيئات، وذلك بوضع ذرة بجوار أخرى، كتَب دريكسلر أنه يمكننا ليس فقط صنع منتجات أكثر كفاءة مما تنتجه أى عملية تصنيع حالية، وإنما أيضًا علاج الكثير من العلل والأمراض السائدة حاليًا فى العالم.

فالأجهزة النانوية تقوم فى مجارى الدم بالجسم بمطاردة الأمراض مثل الإيدز والسرطان والقضاء عليها تمامًا. إذ إنَّ الألياف الكربونية يمكن صنعها فى مثل قوة الماس، وفى نفس الوقت تتكلف أقل من تكلفة اللدائن (البلاستيك).

ومن الممكن صنع حواسيب أقوى بنسبة آلاف المرات من أسرع حواسيب فائقة حالية، وذلك فى حيِّز أصغر من مكعب من السكر. وكل ذلك يمكن تنفيذه، من خلال تكنولوجيا أنظف وأرخص وأسهل فى التعامل معها من تلك المتاحة حاليًا.

كانت تلك رؤية جسورة، ولذلك أثارت الكثير من الجدل فى أرجاء المجتمع العلمى. والآن يعود دريكسلر ورفيقاه اللذان شاركاه فى تأليف كتاب "استشراف المستقبل" إلى موضوع كتابهم ليبحثوا فى مسألة كم نحن قريبون من تحقيق التكنولوجيا النانوية، وما تداعياتها ونتائجها فى المستقبل. وعلى الرغم من وجود الكثير من المعوقات التى يتعيَّن التغلب عليها قبل أن يتمكن العلم من تخليق أبسط مجموعات جزيئية، فإن الصورة تغيَّرت لدى كثير من الناس من "إذا" إلى "متى".

والسبب فى هذا التحوُّل هو الخطوات الهائلة التى خطاها العلم المعاصر باتجاه صنع أول مُجمَّعات جزيئية، فالأبحاث الإضافية باستخدام المجهر النفقى الماسح؟ نتج عنها قدرتنا على تحريك الذرات المنفردة بدقة فائقة، وهذه الحقيقة ظهرت بوضوح تام فى أبريل عام ١٩٩٠، عندما نجح باحثان من شركة الحواسيب التجارية العالمية (IBM) فى كتابة الحروف الثلاثة الأولى من اسم شركتهم على المقياس الذرى مستخدمين ذرات من العنصر "زينون ٣٥". وبواسطة هذا التطور وغيره فإنه من الممكن حقًا - فى الواقع - أن نجد أنفسنا فى خِضَّم الثورة الصناعية الثانية (التى ستكون تأثيراتها ونتائجها لا تقل عن نظيراتها فى الثورة الصناعية الأولى)، خلال عشر سنوات.

غير أنه من الصعب التنبؤ بالمدة الزمنية التى ستنقضى قبل انفجار تلك الثورة، لأن هناك مسارات متعددة يجب أن تسير فيها الأجهزة النانوية ليتم تصنيعها. والتطورات فى مجالات متنوعة مثل صناعة الحواسيب والهندسة الوراثية والتصنيع فائق الصِغَر (النمنمة المتناهية) والفيزياء والكيمياء كانت ومازالت تقودنا إلى العمل باتجاه التصغير الفائق حتى مقاسات الذرة الواحدة. لكن مازال من غير الواضح حتى الآن كيف يمكن صنع المجمعات الجزيئية الأولى أو تجميعها، فما زال هناك الكثير من الصعوبات التقنية المطلوب التغلب عليها. لكن لا يبدو أن أى شىء يتعلق بالمشروع مستحيل التحقيق، فالمشاكل التى تواجهنا لن تزيد صعوباتها على الأرجح تلك التى واجهناها عند إرسال بشر إلى القمر فى عام ١٩٦٩ .

ومع ذلك، فإنَّ ميزة هائلة للتكنولوجيا النانوية أفضل من سباق السفر إلى القمر هى أنَّ معظم القوى المتنوعة التى تدفع التطورات تأتى من القطاع الخاص، كما أنَّ الكثير من الشركات والمؤسسات الكبرى أصبحت بالفعل تنظر إلى التكنولوجيا النانوية بجدية واهتمام. ووزارة التجارة والصناعة اليابانية بدأت تشغيل مركز للتكنولوجيا النانوية فى طوكيو، كما تقدم جامعة ستانفورد بالفعل دورة دراسية فى هذا الموضوع. وبجانب شركة أى بى إم، تقوم حاليًا ٥٠٠ شركة محظوظة مثل "دوبونت" و"AT&T"

بدراسة التكنولوجيات المؤدية إلى تجميع الجزيئات، كما أنَّ شركة "أوتوديسك" التى تعد واحدة من شركات البرمجيات الرائدة فى العالم، تعكف بالفعل على البرامج التى تتيح عمل التصميمات بمساعدة الحاسوب على مستوى الجزيء.

معظم كتاب استشراف المستقبل يبحث فى الإمكانات المختلفة التى تطرحها التجميعات الجزيئية، من خلال "سيناريوهات" تشبه الخيال العلمى تتناول كلها قضية التساؤل "ما الذى ستعنيه ثورة التكنولوجيا النانوية لحياة الرجل العادى الذى يعيش فى القرن الواحد والعشرين؟". إذا تحقق جزء بسيط فقط من تصوُّر دريكسلر ورفيقيه أو رؤيتهم، فإنَّ الإجابة تكون ببساطة واختصار "إنَّ هذه أشياء مذهلة".

بالنسبة إلى المبتدئين، فإنَّ الصناعة تحصل على أداة إنتاجية أسرع وأرخص وأنظف وأكثر كفاءة وأقل احتياجًا إلى العمالة من أى شىء موجود حاليًا، وفى أحد تلك السيناريوهات، يتصور المؤلفون مصنعًا أسريًا صغيرًا يعمل بالتكنولوجيا النانوية، حيث يتم إنتاج تشكيلة متنوعة من الأصناف خلال مهلة طلب قصيرة لها، من مواد وخامات فائقة الصِغَر سابقة التصنيع، وذلك بواسطة مُجمَّعات مبرمَّجة. والمؤلفون يرون أنَّ التكنولوجيا النانوية تحل ليس فقط محل المصانع التقليدية، ولكن أيضًا محل الوقود الأحفورى الذى تعمل به، مع الإشارة إلى أنَّ " التكنولوجيا النانوية يمكن أن تجعل الخلايا الشمسية أكثر كفاءة، ورخيصة بنفس رخص الجريدة اليومية وقوية بنفس قوة الأسفلت"..

ومع توفر حواسيب نانوية رخيصة، سوف يتم جعل أى مواد وأصناف ومنتجات معتادة "ذكية" بسهولة وتكلفة بسيطة. وأحد السيناريوهات التى يطرحها المؤلفون هو الخاص بـ "الطلاء الذكى". فصاحب المنزل العادى يمكنه أن يُعلم رقعة من أحد حوائط منزله بقلم كيميائى خاص، ثم يضع أجهزة نانوية ذكية داخل تلك الخطوط. وعندئذ تقوم تلك الأجهزة النانوية بالتحرك سريعًا فى تلك الرقعة وتغطيها، حتى تصل إلى

حدودها المُعلَّمة بالقلم، وعندئذ تتصل ببعضها بعضًا ثم تجثم فى مكانها وتلتصق بالسطح تمامًا.

أحد الأمور التى تشغل بال المؤلفين كثيرًا هو البيئة، تجد فى كل موضع بالكتاب تعليقات حول قدرة التكنولوجيا النانوية على تنظيف التلفيات التى تفسد البيئة. وهم على صواب فى قولهم بأنَّ التكنولوجيا النانوية سوف تنظِّف البيئة بدون التضحية بأى نمو اقتصادى. وهم يُطلقون على هذه الفكرة "الثروة الخضراء"، وبخلاف الكثير من أقرانهم المتحمسين للبيئة الخضراء، فإنَّ دريكسلر ورفيقيه يفهمون معنى القدرة والطاقة وضرورة وجود أسواق حرة للمنتجات.

ومن بين كل التطبيقات المحتملة التى ناقشها دريكسلر ورفيقاه، لا يوجد ما يُثير الخيال أكثر من الدور الذى يمكن أن تلعبه التكنولوجيا النانوية فى الطب. وهم يذكرون أنَّ الجسم يستخدم بالفعل "أجهزة جزيئية طبيعية" مثل الأنزيمات الهاضمة وهيموجلوبين الدم، ثم يتنبأ المؤلفون بصنع أجهزة نانوية تُكمِّل الجهاز المناعى الطبيعى للجسم، تقوم بقتل الفيروسات والبكتريا الضارة، بكفاءة أعلى من كفاءة خلايا الدم البيضاء بالجسم نفسه، بينما تقوم أجهزة نانوية أخرى بإصلاح التلف بالخلايا وتنظيف الشرايين المسدودة، بل حتى إعادة إنماء الأعضاء والأطراف مرة أخرى. وفى النهاية البعيدة لحدود التكنولوجيا النانوية، نرى أنَّ عملية الإبطاء أو الإيقاف التام للشيخوخة الطبيعية تبدو ممكنة حقًا. وحتى حبوب الشباب التى تنتشر عادة فى أجسام المراهقين، يمكن القضاء عليها بواسطة "كريم" يفرزه جهاز نانوى ينظِّف تمامًا مسام البشرة والجسم.

وعلى سبيل المثال ففى الفصل الأول "القيود والعيوب" يبذل المؤلفون جهدًا لا بأس به فى إظهار المزايا طويلة المدى للتكنولوجيا النانوية لكل شخص تقريبًا فى العالم. ولكن أثناء قيامهم بذلك، فإنهم يُعتمون على المشاكل والأضرار التى ستخلقها. مثلا، ما الذى سيحدث للدول النامية، عندما يقوم الغرب، ليس فقط بالقفز قُدمًا فى الإنتاجية

الصناعية، ولكن أيضًا عندما لا يحتاج بعد إلى المواد الخام أو العمالة التى وفرتها سابقًا دول العالم الثالث؟.

وفى فصل "السلامة والحوادث والانتهاكات" يُحطم المؤلفون بمهارة معظم سيناريوهات فناء العالم المقترنة بالتكنولوجيا النانوية، لكنهم أقل نجاحا فى استعراض إمكانات حدوث الانتهاكات. مثلا، قضية السريّة تم ذكرها بسرعة (لاحظ تصوير المراقبة المحتملة بأجهزة التنصت والتصوير النانوية المتاحة بلجنة الاستخبارات السرية الروسية)، وبالرغم من أنهم ذكروا بالفعل أنَّ الضوابط الحازمة على الأبحاث سوف تنجح فقط فى دفع أبحاث التكنولوجيا النانوية إلى السرية أو إلى دول أقل تنظيمًا، فإنهم لا يزالون يثقون ثقة شبه تامة بقدرة المنظمات الدولية على إبطاء انتشار الأسلحة الناتجة من التكنولوجيا النانوية.

ولكن عمومًا تظل تلك عيوبًا صغيرة فى كتاب يحاول رسم خريطة لأقاليم جغرافية كبيرة لم يحاول أحد من قبل استكشافها. وكما يقول المؤلفون، فإن التكنولوجيا النانوية تطرح لنا إمكانية تبديل المشاكل القديمة بأخرى جديدة، وإذا تحقق حتى جزء صغير مما تصوره دريكسلر ورفيقاه، فإنَّ ثورة التكنولوجيا النانوية سوف تغيِّر حياة أطفالنا بنفس الدرجة الهائلة التى غيَّرت بها ثورة الحواسيب حياتنا نحن، ومثلما غيَّرت الثورة الصناعية من حياة أجدادنا منذ نحو مئتى عام مضت.

رؤوف وصفى

تصدير

ها نحن أمام التكنولوجيا النانوية، إنها علم جيد، الهندسة المنبثقة منها ممكنة عمليا وطرق تطبيقها متنوعة ونتائجها عبارة عن ثورة غير مسبوقة، وبرنامج تنفيذها الزمنى ممكن أثناء حياتنا!

ولكن ماذا؟...

لا يعرف أحد ما هو ولكن ماذا.. ولهذا السبب، فإن كتابا كهذا يصبح جوهريا قبل بدء هندسة الجزيئات والتحويل الروتينى للمادة. وسوف تصل تلك التقنية تدريجيا وبشكل واضح، بيد أن نتائجها سوف تتحقق على نطاق أكثر اتساعا وغالبا بشكل مرئى تماما.

إنّ التصورات والأفكار المنبثقة من ثورة متفجرة تكون دائما مشكلة، لأن المنظر الواسع على المدى الطويل يكون مختفيا وراء المسائل العاجلة المُلحة والتحركات المفاجئة للناس الذين عرفوا موضوعها مؤخرا.. فبعضهم يتحين الفرص الملائمة له منها، وبعضهم ينظر إليها بحذر وارتياب .. والحقيقة أن كلا من المتفائلين والمتشائمين بشأن التقنيات الجديدة يسيء إليها بسبب ضيق أفقهم.

الإغراء دائما هو التركيز على نقطة بدء واحدة أو على هدف واحد مُبتغى أو محل خوف وخطر. وكمثال على نقطة البدء خذ: ما الذى يحدث لو أمكننا صنع أى شيء من الماس؟.. وكمثال على هدف واحد مُبتغى أو محل خوف وخطر خذ: ما الذى يحدث لو ساعد دواء مصنوع على المستوى الجزيئى على إطالة عمر الإنسان إلى قرون؟

إننا لسنا معتادين على إلقاء الأسئلة .. وما فائدة الكلمة لو حدثت مثل تلك الأشياء؟.. ونحن لا نسأل: ما الذى تكوّنه مثل تلك الكلمة؟.

أول كلمة تخطر على ذهن المرء هى "حذر".. والثانية هى "كرنفال". إنّ الإنجازات التقنية الكبرى فى مجال التكنولوجيا النانوية هى على الأرجح ذاتية التسارع وذاتية الانتشار، مثلما حدث مع تطورات تكنولوجيا المعلومات، خلال العقود الكثيرة الماضية (والتى سوف تستمر، وخصوصا أن التكنولوجيا النانوية تسهم بدورها فيها). إننا يمكننا الحصول على مضمون هائج ومضطرب من ابتكارات ومفاجآت مستمرة، ولكن مع تصادم النتائج المطلوبة والتأثيرات الجانبية غير المتوقعة فى جميع الاتجاهات.

كيف يتسنى لك أن تحصل على كرنفال حذر؟.. إن استكشاف المستقبل يوضح لنا جانبا من الإجابة.

لقد دأبت على ملاحظة تطور أفكار "إريك دريكسلر" منذ عام ١٩٧٥، حينما كان طالبًا لم يتخرّج من معهد ماساشوسيتس للتقنية ويعكف على التقنيات الفضائية (مثل المستوطنات الفضائية ودافعات الكتلة ووسائل الدفع الشمسية). وكنت أراقب ذلك من موقع عالم "الرجوع إلى الأساسيات" من واقع مطبوعات "كتالوج الأرض كلها"، الذى نشرته فى نفس ذلك الوقت. وفى هذا التجمع الرائع من علماء البيئة ومنقذى العالم كانتا إحدى كلماتنا السيئة هى "الورطة التكنولوجية". والورطة التكنولوجية كانت مُدانة دائما، لأنها كانت مجرد اختصار.. إنها توجيه للتكنولوجيا المتطورة لحل مشكلة ما مع عدم الاكتراث بالمشاكل الجديدة، التى ربما تكون أسوأ، التى قد تنجم عن هذا الحل.

بيد أننا بدأنا نلاحظ أن بعض المآزق التكنولوجية تتميز بخاصية تغيير التصورات والمفاهيم البشرية بطريقة صحيّة. فمثلا الحاسوبات الشخصية شَغلت أفرادا ونزعت السيطرة المركزية لتكنولوجيا الاتصالات. والأقمار الصناعية الفضائية... والتى فى

البداية رفضها علماء البيئة – ثبت أنها أداة مراقبة ثمينة للبيئة، وأصبحت صورها للأرض من الفضاء أداة مهمة فى تطور العلوم البيئية.

كذلك أنا أعتقد أن التكنولوجيا النانوية أحد مُغيّرات تصوراتنا ومفاهيمنا. فهى مجموعة من التكنولوجيات الأساسية جداً لدرجة أنها تُشكل إطارا جديدا من "الرجوع إلى الأساسيات". وعلينا أن نعيد التفكير فى استخدامات المواد والأدوات فى حياتنا وحضاراتنا.

أثبت "إيرك" أنه قادر على التفكير عند هذا المقياس بكتابه الذى نشره عام ١٩٨٦ "محركات الخلق". وفى هذا الكتاب طرح فكرة الاضطرابات والمخاطر المحتملة لثورة التكنولوجيا النانوية المطلوبة، والتى تتطلب مناقشات استباقية جدية، وفى ندوة أولى له أنشأ هو وزوجته "كريس بيترسون" (معهد فورسايت).. وقد كتبت إلى هذا المعهد مبينا بعض الكتب التى تلزمه، وسرعان ما وجدت نفسى ضمن مجلسه الاستشارى.

ومن هذا المكان المتميز، لاحظت التحديات الفنية المتزايدة التى واجهت مصداقية التكنولوجيا النانوية وجدارتها (وأنا نفسى شجعت بعضا منها) عندما بدأ الناس يفكرون فى تلك المفاهيم بجدية. التحديات السهلة أمكن التغلب عليها بهدوء.. أما التحديات الصعبة فقد غيرت وطورت مجمل الأفكار.. لكن لم يصبها أى منها فى مقتل.. على الأقل حتى الآن.

كما لاحظت التقارير المتزايدة الصادرة من أفرع بحثية معنية بوضوح بإمكانات التكنولوجيا النانوية، وحرر أكثرها أناس لم يكونوا على دراية ببعضهم البعض. ولقد شجّعت إريك وكريس على جمع أولئك فى مؤتمر علمى. وعُقد أول مؤتمر لمعهد فورسايت فى عام ١٩٨٩ بجامعة ستانفورد، وتناول المؤتمر بحث خليط من القضايا الفنية والثقافية. والواقع أن هذا التقارب أسرع من معدل التوقعات والأبحاث. ويقوم هذا الكتاب الآن بخطوة رائعة تعقب ذلك.

وكما علمت من (الشبكة التجارية العالمية) التى أعمل فيها لبعض الوقت لمساعدة الشركات الدولية متعددة الجنسيات فى التفكير لا فى شؤون مستقبلها، فلسوف يكتشف خبراء المستقبل قريبا أن التنبؤ الدقيق للمستقبل أمر مستحيل، كما أن دفع المستقبل عنوة فى الاتجاه المرغوب فيه مستحيل أيضًا. فما الذى يتركه ذلك لنتدبر أمورنا؟.. إحدى الأدوات المفيدة جدًا تُسمى (تخطيط السيناريوهات المحتملة)، وفيها يتم طرح قصص مؤثرة مختلفة بشأن الأحوال المستقبلية، كما يتم أيضًا طرح إستراتيجيات مختلفة للتعامل مع تلك السيناريوهات، ويستمر طرح السيناريوهات والإستراتيجيات مقابل بعضها البعض، حتى تصبح السيناريوهات متماسكة ومعقولة ومفاجئة وذات مغزى وممكنًا مقارنتها بالحقائق الواقعية عند الكشف عنها. والمتوقع أن تنبثق من تلك العملية إستراتيجيات معدّلة لها وزن ومصداقية.

يطرح هذا الكتاب مجموعة ثرية من السيناريوهات الصُغرى لمسارات التكنولوجيا النانوية.. بعضها مثير وبعضها مخيف ولكن كلها مثيرة للاهتمام والفكر. ولعل واحدة منها لن تمثل ما سوف يحدث فى الواقع، ولكنها فى مجملها تُعطى إحساسًا أو توقعًا عميقًا بنوع وطبيعة الأشياء التى سوف تحدث. وتتناول هذا الكتاب أيضًا إستراتيجيات التخطيط المسبق لهذه العملية.. غير أن المسؤولية الكلية عن سلامة التكنولوجيا النانوية وفعاليتها وتطويرها تقع على عاتق كل من يدرى بها. وهذا بالطبع يتضمنك أنت الآن.

ستيوارت براند

توطئة

المضادات الحيوية والطائرات والأقمار الصناعية والأسلحة النووية والتلفاز وإنتاج الجملة والحواسيب والاقتصاد النفطى العالمى، ويقترن بها أيضًا نتائجها وتداعياتها على حياة الإنسان والأرض ذاتها، كل هذه ثورات مألوفة لتكنولوجيات القرن العشرين، قد ظهرت وتحققت فى ذاكرتنا الحية القريبة. وكانت كل تلك الثورات هائلة، غير أن العقود القليلة التالية تبشر بالمزيد منها. ولكن التصورات والتوقعات والآمال الجديدة ليست مألوفة ولا يمكن أن تكون كذلك، لأنها لم تحدث بعد. بيد أن هدفنا من هذا الكتاب هو أن نرى ما يمكن رؤيته، وأن نحاول فهم ليس فقط أحداث المستقبل المجهول الذى لا يمكن سبر غوره، ولكن أيضًا الإمكانات المحددة والممكن معرفتها، والتى سوف تشكل حقيقة المستقبل.

اتجهت تكنولوجيا القرن العشرين إلى أكوام الخردة والنفايات، أو ربما إلى صناديق الفضلات التى يمكن إعادة تدويرها. ولقد غيّرت الحياة، والبديل اللاحق لها سوف يُغَيِّر الحياة مرة أخرى ولكن بشكل مختلف. وهذا الكتاب يحاول على الأقل تتبع بعض النتائج المهمة للثورة المقبلة فى مجال التكنولوجيا النانوية الجزيئية، ويشمل ذلك نتائجها وتداعياتها على البيئة والطب والحرب والصناعة والمجتمع والحياة على الأرض. إننا سوف نرسم صورة للتكنولوجيا – أى أجزاءها وعملياتها وإمكاناتها – إلا أن التكنولوجيا ذاتها يلزمها كتاب أكبر حجما لتناولها بالتفصيل.

والخلاصة المختصرة لما تعنيه التكنولوجيا النانوية الجزيئية هى السيطرة الكاملة والرخيصة على تركيب المادة. والتلوث والأمراض البدنية والفقر المادى، كلها أشياء

تنجم عن السيطرة السيئة على تركيب المادة. وتُعد المناجم السطحية المكشوفة والقطع والإخلاء التام لمناطق غابات الأشجار ومعامل تكرير النفط ومصانع الورق وآبار النفط بعض من التقنيات البسيطة أو البدائية التي نشأت في القرن العشرين، والتي سيتم استبدالها. ومثاقيب الأسنان والعلاج الكيميائي السام مثالان آخران عليها.

كالعادة، هناك وعد بتحقق فائدة ووعد بحدوث مخاطرة سوء استخدام. وكما يجرى عادة، تأخرت الولايات المتحدة عن الركب بعدم النظر إلى الأمام. وكما لم يحدث من قبل، فإنَّ الحكمة وتدبّر العواقب مهمان جدا وممكنان أيضًا.

لقد أعددت حالة فنية لجدوى التكنولوجيا النانوية الجزيئية في مكان آخر، وهذه الحالة قتلها العلماء والمهندسون بحثًا منذ منتصف ثمانينيات القرن العشرين.

(تبين قائمة الكتب الفنية بعض الكتب المرتبطة بهذا الأمر). والآن تعتبر فكرة التكنولوجيا النانوية الجزيئية مقبولة بشكل كبير، مثلما كانت فكرة الطيران إلى القمر في عام ١٩٥٠ قبل عصر الفضاء، وذلك ١٩ عامًا قبل هبوط المركبة (أبوللو ٢) و٧ أعوام قبل صدمة القمر الصناعي (سبوتنيك). وأولئك الذين يفهمونها يتوقعون حدوثها، ولكن بدون تحمل التكلفة واللايقين المرتبطين بالتزامها الوطني الكبير.

هدفنا من هذا الكتاب هو وصف ما تعنيه التكنولوجيا النانوية الجزيئية بتعبيرات عملية، بحيث يتيسر للمزيد من الناس التفكير بشكل أكثر واقعية في المستقبل. ومن المهم جدا أن نترك على الفور قرارات كيفية تطوير والسيطرة على التكنولوجيات الجديدة إلى حفنة من الباحثين المتخصصين، أو إلى عملية سياسية سريعة تبدأ عملها في آخر دقيقة، عندما ينطلق القمر الصناعي (سبوتنيك). وفي ظل الفهم الواسع والتأمل طويل الأمد، تصبح القرارات السياسية أكثر قدرة على تحقيق الخير المشترك للناس.

لم أكن لأكتب كتاباً كهذا من تلقاء نفسي، فأنا أتجه إلى اتجاه آخر أكثر تجريداً. ويتبقى أن أوجِّه الشكر وأيضاً اللوم إلى المؤلفين المشاركين، (كريس بيترسون) و(جايل برجاميت) لجعل هذا الكتاب يخرج إلى النور ولتغطية عظام التكنولوجيا بلحم الإمكانات البشرية المتاحة.

ك. إريك دريكسلر

جامعة ستانفورد

تعليق

كثير من الفصول التالية تدمج بين الأوصاف الواقعية أو الحقيقية والسيناريوهات المستقبلية بشأن تلك الحقائق. الحقائق والإمكانيات بذاتها قد تكون جافة وبعيدة عن الاهتمامات البشرية. والسيناريوهات تُستخدَم على نطاق واسع بمعرفة خبراء الإستراتيجيات التجارية والصناعية لربط الحقائق والإمكانيات في صور وإطارات متماسكة وأساسية. ونحن نختار تلك السيناريوهات لهذا الغرض. والسيناريوهات تتميَّز عن النصّ العادي في الكتاب بالفراغ الموجود في أول السطر. وعند حديث السيناريوهات عن التكنولوجيات، فإنها تمثل فهمنا لما هو ممكن. وعندما تتحدث عن أحداث وقعت قبل عام ١٩٩١، فإنها تمثل فهمنا لما حدث بالفعل. ولكن الأجزاء الأخرى من السيناريوهات موجودة لتقول لنا قصة ما. والقصة الواردة في الفقرتين الأوليين حدثت بالفعل في عام ١٩٩٠.

الفصل الأول

نظرة إلى الأمام

تمهل الأستاذ الجامعي الياباني مع زائره الأمريكي في القطار للنظر إلى إنشاء خرساني مرتفع داخل الحرم الجامعي بإحدى ضواحي طوكيو بالقرب من محطة (هيجاشيكوجاني). وقال الأستاذ الجامعي "كوباياشي": "هذا المبنى هو مركزنا للتكنولوجيا النانوية". ومدح ضيف الأستاذ هذا العمل وهو يسأل نفسه: "متى يمكن لأستاذ جامعي أمريكي أن يقول نفس هذا الكلام؟".

كان مركز التكنولوجيا النانوية هذا، يتم بناؤه في ربيع عام ١٩٩٠ . بينما كان أريك دريكسلر في منتصف رحلة مثيرة يقوم بها ليتحدث عن التكنولوجيا النانوية للباحثين، ويقابل العشرات ممن يمثلون معامل الأبحاث الكبرى. وقامت جمعية أبحاث يابانية برعاية الرحلة ، كما نظمت وزارة التجارة والصناعة الدولية (MITI) مُنتدى حول تلك الزيارة.. وهو منتدى لبحث الأجهزة والآلات والأدوات الجزيئية والتكنولوجيا النانوية الجزيئية. كانت الأبحاث اليابانية وقتئذ تسارع الخُطى بهدف تطوير "أنماط جديدة من العلم والتكنولوجيا منسجمة مع الطبيعة والمجتمع الإنساني".. أي تكنولوجيا جديدة للقرن الحادي والعشرين.

هناك رؤية أو تصوُّر للمستقبل لا يتسق مع الصورة المرسومة له في الصحف. فكِّر فيه كخيار بديل.. منحنى في تاريخ المستقبل يقود إلى عالم مختلف. في هذا العالم، السرطان يلي شلل الأطفال، النفط يلي زيت كبد الحوت، التكنولوجيا الصناعية

تلى حجر الصوان المنحوت.. كل شيء يتم علاجه أو استبداله. المشاكل القديمة تختفى وتظهر مشاكل جديدة.. على طول الطريق توجد عوالم كثيرة بديلة، بعضها يصلح لأن نعيش فيه وبعضها لا يصلح لذلك. إنا نهدف إلى معاينة هذا الطريق وبدائله، لأنه لكى نصل إلى عالم يصلح لأن نعيش فيه، فإننا نحتاج جميعًا إلى رؤية أفضل للمسارات الظاهرة المتاحة.

كيف يمكن للمرء أن يبدأ وصف عملية يمكنها أن تحل محل المنظومة الصناعية العالمية؟.. الإمكانات الفيزيائية والإتجاهات البحثية وتكنولوجيات المستقبل والنتائج البشرية والتحديات السياسية.. هذا هو التسلسل المنطقى، غير أنَّ واحدة من ذلك كله لا تصلح نقطة بداية مقبول. ويمكن للقصةَ أن تبدأ بإجراء أبحاث فى أماكن مثل (IBM)، دوبونت، مشروعات (ERATO) بتزوكويا و(RIKEN)، بيد أن ذلك سيبدأ بالجزئيات، وهو موضوع بعيد عن اهتمام الناس. وفى قلب القصة يوجد نوع من التكنولوجيا - التكنولوجيا النانوية الجزيئية أو صناعة المجهريات الجزيئية - التى يبدو أنه مُقدَّر لها أن تحل محل التكنولوجيا كما نعرفها الآن، غير أنه من الأفضل ألا نبدأ من المنتصف.. وبدلا من ذلك، يبدو أن الأفضل أن نبدأ بشرح القليل من كل موضوع منها، وأن نطرح تصورًا مختصرًا للنتائج والتكنولوجيات والاتجاهات والمبادئ الأساسية المحتملة قبل أن ننغمس فى فصول كاملة تتناول جانبًا أو آخر منها. وهذا الفصل يقدِّم تلك التصورات الموجزة ويُجَهِّز المسرح لما سوف يأتى فيما بعد.

ويمكن قراءة كل ذلك من داخل إطار عام هو التساؤل "ماذا لو؟: ماذا يمكن أن يحدث لو حلت الصناعة الجزيئية ومنتجاتها محل التكنولوجيا الحديثة؟ إذا كانت لن تحل محلها، فإن السؤال يدعو فقط للترفيه عن النفس والتدريب على توسيع ذهن الناس. ولكن إذا كانت ستحل محلها، إذن الوصول إلى إجابات جيدة مقدمًا قد يُخل بالتوازن العام من أجل صنع قرارات سوف تحدد مصير العالم. وسوف تبين لنا فى

الفصول الأخيرة لماذا نرى الصناعة الجزيئية على أنها شيء حتميّ تقريبًا، ولكن الآن سوف يكفينا أن يتأمل الناس جيدًا السؤال "ماذا لو؟".

وصف موجز للتكنولوجيات

صناعة التكنولوجيا النانوية الجزيئية: هى عمليات التحكم التام والرخيص فى تركيب المواد، من واقع التحكم فى جزىء وراء جزىء للمنتجات والنواتج الفرعية وكل منتجات التصنيع الجزيئى وعملياته.

التكنولوجيا كما نعرفها هى نتاج للصناعة، أى نتاج للهندسة الصناعية والكيميائية. والصناعة كما نعرفها تأخذ الأشياء من الطبيعة، مثل المواد الخام من الجبال والأشجار من الغابات، ثم تعالجها وتحولها إلى أشكال يعتبرها البعض مفيدة. والأشجار تصبح أخشابًا ثم منازل. والجبال تصبح حجارة ودبشًا ثم حديدًا منصهرًا ثم فولاذًا ثم سيارات. والرمل يصبح غازًا نقيًا ثم سليكونًا ثم رقاقات إلكترونية... إلخ. وكل عملية فى ذاتها بسيطة وتعتمد على قطع وتقليب وتحميص ورش وحفر وطحن مادة ما.. وهلم جرا.

بيد أن الأشجار ليست بسيطة، إذ لكى تصنع الأشجار الخشب والأوراق، فإنها لا تقطع ولا تطحن ولا تقلّب ولا تحمّص ولا ترش ولا تحفر شيئا ما، ولكنها بدلا من ذلك تُجمّع الطاقة الشمسية بواسطة أدوات إلكترونية جزيئية هى أجهزة البناء الضوئى – وهى أجهزة لها أجزاء متحركة ذات تركيب جزيئى دقيق جدًا – التى تقوم بتحويل غاز ثانى أكسيد الكربون والماء إلى أكسجين ولبنات بناء جزيئية. وهى تستخدم أجهزة جزيئية أخرى لدمج لبنات البناء الجزيئية تلك فى بعضها البعض لتشكيل الجذور والجذوع والأفرع والأغصان ومُجمعات الطاقة الشمسية وكثير من الأجهزة الجزيئية الأخرى. وكل شجرة تصنع أوراقًا، وكل ورقة أكثر دقة وتطورًا من مركبة الفضاء،

وأكثر دقة فى تركيبها من أحدث رقاقة إلكترونية ينتجها وادى السليكون بالولايات المتحدة وهى تصنع كل ذلك بدون ضوضاء ولا حرارة ولا أدخنة سامة ولا مجهود بشرى.. كما أنها تمتص الملوثات وهى تؤدى عملها. ومن هذا المنظور فإن الأشجار تعمل بتكنولوجيا عالية، أما الصواريخ والرقاقات الإلكترونية، فليست كذلك.

والأشجار توحى إلينا بما سوف تشبهه التكنولوجيا النانوية الجزيئية، إلا أن التكنولوجيا النانوية ليست تكنولوجيا حيوية، لأنها لن تعتمد على تغيير الحياة. التكنولوجيا الحيوية هى حالة متقدمة من مجال تطويع الكائنات الحية لخدمة الإنسان وحياته العائلية.. ومثلما الحال مع تربية السلالات الانتقائية ، فإنها تعيد تشكيل الموروث الوراثى (الجينى) للسلالات الحية لإنتاج أنواعا منها أكثر فائدة للناس.. وبخلاف تربية السلالات الانتقائية ، فإنها تُدخل جينات (مُورثات) جديدة. ومثل التكنولوجيا الحيوية – أو الأشجار العادية – فإنَّ التكنولوجيا النانوية الجزيئية سوف تستخدم أجهزة جزيئية، ولكنها تختلف عن التكنولوجيا الحيوية فى أنها سوف لا تعتمد فقط على التدخل الجينى. إنها لن تكون امتداداً للتكنولوجيا الحيوية، وإنما خيار بديل أو بديل يحل محلها.

التكنولوجيا النانوية الجزيئية يمكن فهمها وتحليلها – ولكن ليس بناؤها – وفق المعلومات العلمية المعروفة منذ أربعين عاماً. وحتى اليوم، بعد تسارع التطورات العلمية، فإن فهمنا يتطور ببطء لأن التكنولوجيا النانوية الجزيئية تدمج بين مجالين كانا من قبل مختلفين تماماً: العلوم الجزيئية التى تعمل عند عتبة عالم الكمّ، والهندسة الميكانيكية التى مازالت متسخة بالشحم وتدنى مستوى التكنولوجيا التقليدية. أما التكنولوجيا النانوية فسوف تكون تكنولوجيا الأجهزة الجزيئية الجديدة، المكونة من تروس وأعمدة دوران ومحامل ارتكاز تتحرك وتعمل مع أجزاء تُشكّل وفقًا لمعادلات الكمّ المستقاة من قوانين الطبيعة. والمهندسون الميكانيكيون لا يصممون جزيئات، كما أن علماء الجزيئات نادراً ما يصممون أجهزة وآلات. ومع ذلك فإنَّ مجالا علمياً جديداً سوف ينمو – وهو

ينمو بالفعل الآن – فى الثغرة التى تفصل بينهما، وهذا المجال سوف يحل محل كل من علم الكيمياء كما نعرفه والهندسة الميكانيكية كما نعرفها. وما نُطلق عليه اليوم الصناعة أو التصنيع أو التكنولوجيا الحديثة، ليس فى الحقيقة إلا مزيجًا من الكيمياء البسيطة والأجهزة البسيطة؟

يرسم الفصل الثانى صورة واضحة للأجهزة الجزيئية والتصنيع الجزيئى، ولكن فى الوقت الحالى يكفينا التشبيه أو التمثيل. تصور مصنعًا يعمل آليًا تمامًا وممتلئًا بالسيور والحواسيب والأسطوانات وأدوات التشكيل بالكبس وأذرع روبوتية دوّارة. والآن تصور مصنعًا كهذا، ولكنه أصغر ملايين المرات عنه ويعمل بسرعة تبلغ ملايين المرات قدر سرعته، وكل أجزائه ومشغولاته بحجم الجزيئات. فى هذا المصنع تكون المادة الملوِّثة مجرد جزىء سائب، مثل مسمار مرتد أو فَلَكَه[1]، والجزيئات السائبة لا يُسمَح بها أبدا. وفى كثير من الحالات، فإن هذا المصنع لن يشبه بالمرة أى خلية حية: فهو ليس مانعًا ولا مرنًا ولا قابلا للتكيُّف ولا قابلا للنمو، وإنما هو مصنع جاسئ ومبرمج مسبقًا ومتخصصًا. وعلى الرغم من كل ما سبق، فإنَّ هذا المصنع الجزيئى يُضاهى الخلية الحية فى نظافتها ودقتها وتركيبها.

الصناعة الجزيئية المتطورة سوف تكون قادرة على صنع أى شىء تقريبًا. فبخلاف التكنولوجيتين الكيميائية والميكانيكية، فإنَّ الصناعة الجزيئية سوف تعمل من أسفل إلى أعلى (أى من الأصغر إلى الأكبر منه) وتقوم بتجميع المنتجات فائقة الصغر من لبنات البناء الجزيئية التى تكمن خلف كل شىء فى عالمنا المادىّ.

والتكنولوجيا النانوية سوف تطرح لنا إمكانات جديدة وتتيح لنا طرقًا مستحدثة لصنع الأشياء وعلاج أجسامنا والعناية بالبيئة التى نعيش فيها.

وفى نفس الوقت، سوف تأتى لنا بتطورات غير مرغوب فيها فى مجال الأسلحة وأيضا تفتح لنا سبلا لإفساد العالم وتلويثه على نطاق واسع. وهى لن تحل مشاكلنا

---

(١) حلقة معدنية أو جلدية لإحكام الربط. (المترجم)

تلقائيا، إذ حتى التكنولوجيات الكبيرة القوية لا توفر لنا سوى الطاقة والقوة. وكالعادة فسيكون أمامنا الكثير من العمل لنقوم به والكثير من القرارات الصعبة لكى نتخذها إذا أردنا تسخير التطورات الجديدة لتحقيق أهداف جيدة. والسبب الرئيسى للاهتمام بالتكنولوجيا النانوية الآن قبل تحققها أو وجودها على نطاق واسع هو الحصول على بداية مشجِّعة أو مناسبة فى فهمها وما الذى يجب علينا عمله حيالها.

تصور أولى للنتائج المحتملة

اشتهرت الولايات المتحدة باهتمامها الشديد بانتخابات الرئاسة كل أربع سنوات وأرباح كل ربع عام قادم، أما المستقبل فليذهب إلى الجحيم!. ومع ذلك، فنحن نكتب للبشر العاديين الذين يشعرون أن أمور المستقبل وقضاياه – مثلا بعد عشرة أو عشرين أو حتى ثلاثين عامًا من الآن – تهم الناس الذين يعبأون بتغيير الأمور للأفضل. غير أنَّ التوصل إلى الخيارات الحكيمة مع الاهتمام المستمر بالمستقبل يحتاج إلى تفهم الصورة الواقعية لما يمكن أن يحدث فى عالم الغد. ولكن ماذا لو اتضح أن أكثر تصورات المستقبل المطروحة الآن مبنية على افتراضات خاطئة؟.

ها هى بعض الافتراضات الحالية الشائعة، وبعضها مألوف تمامًا، لدرجة أنها لا تُذكر عادة:

* التطور الصناعى هو الخيار الوحيد البديل للفقر.
* يجب أن يعمل الكثير من الناس فى المصانع.
* المزيد من الثروة معناه المزيد من استهلاك الموارد المتاحة.
* أنشطة قطع الأشجار والتعدين وحرق أنواع الوقود الأحفورى، يجب أن تستمر.

* التصنيع معناه زيادة التلوث.

* تطور العالم الثالث سوف يضُر بالبيئة.

وتعتمد كل هذه الافتراضات على افتراض آخر أكثر جوهرية هو:

* الصناعة التى نعرفها لا يمكن استبدالها.

وفيما يلى مزيد من الافتراضات الشائعة:

* القرن الواحد والعشرون سوف يُحضر أساسًا معه المزيد منها.

* الاتجاهات الاقتصادية الموجودة حاليًا سوف تحدد مشاكل الغد.

* السفر فى الفضاء لن يكون متاحًا لأكثر الناس.

* لا يمكن أن تنمو الغابات الشجرية فيما وراء الأرض.

* الأدوية الأكثر تطورًا سوف تكون دائمًا غالية الثمن.

* حتى الأدويـة المتطورة للغايـة لن يمكنها الحفاظ على صحـة الناس.

* الطاقة الشمسية لا يمكن أن تصبح رخيصة.

* لا يمكن جمع النفايات السامة أو القضاء عليها.

* الأراضى المستصلحة لا يمكن أن تعود بورًا مرة أخرى.

* لن تظهر أبدًا أى أسلحة أسوأ من القذائف النووية.

* سوف يـؤدى التـلوث واستـنزاف المـوارد الطبيعية أخيـرًا إلى نشوب الحروب أو تقوُّض المجتمعات.

وتعتمد هذه الافتراضات أيضًا على افتراض آخر أكثر جوهرية هو:

* التكنولوجيا التى نعرفها لا يمكن استبدالها أبدا.

هذه الافتراضات الشائعة ترسم صورة للمستقبل ممتلئة بالكوارث المرعبة، وتصور لنا أن تغيير التكنولوجيا الذى سوف يتيح لنا الهروب منها ينبثق بشكل ما من فكرة أن بعض التطورات التكنولوجية يمكنها إنقاذ المنظومة الصناعية. بيد أن هذا التصور مختلف نوعًا ما، لأن المنظومة الصناعية لن يمكن إصلاحها، وإنما سيتم لفظها وإعادة معالجتها. وهذا التصور لا ينبنى على أن المزيد من الثروات الصناعية سوف يتم استخلاصها من باطن الأرض، وإنما على الحصول على ثروة خضراء متجددة من عمليات نظيفة مثل الشجرة النامية. واليوم تجبرنا تكنولوجياتنا الصناعية على اختيار الجودة العالية أو الثمن الرخيص أو المزيد من السلامة أو البيئة الأكثر نظافة. غير أن الصناعة الجزيئية يمكن استخدامها لتحسين الجودة وتقليل الأسعار وزيادة السلامة وتنظيف البيئة. وسوف تتجاوز الثروات التكنولوجية القادمة الكثير من المشاكل والمآزق القديمة المألوفة، وفي نفس الوقت سوف تولد مشاكل ومآزقًا جديدة ومرعبة بنفس الدرجة!

والتكنولوجيا النانوية الجزيئية سوف تنتهج أسلوب التحكم التام والرخيص فى تركيب المادة. نحن محتاجون أن نفهم التكنولوجيا النانوية الجزيئية لكى نفهم الإمكانات المستقبلية للجنس البشرى. وسوف يساعدنا ذلك على رؤية التحديات التى ستواجهنا وعلى التخطيط لبذل أقصى جهد للحفاظ على القيم والتقاليد والمنظومات البيئية من خلال تطبيق سياسات فعالة وإنشاء مؤسسات قوية. وبالمثل، يمكن أن يساعدنا على رؤية المغزى الفعلى للأحداث الحالية، بما فى ذلك الفرص التجارية والصناعية وإمكانات العمل المثمر. نحن محتاجون إلى رؤية إلى أين تقودنا التكنولوجيا، لأن التكنولوجيا جزء لا يتجزأ من أنشطة الجنس البشرى، وسوف تؤثر على ما سوف نصير إليه نحن ومجتمعاتنا.

إن نتائج الثورات القادمة سوف تعتمد على تصرفات الناس. وكالعادة، فإن القدرات الجديدة سوف تخلف إمكانات جديدة، سواء فى مجال الخير أو الشر. وسوف

نناقش كلا من هذين الأمرين، مع التركيز على كيفية التطويع الأمثل للضغوط السياسية والاقتصادية بهدف تحقيق نتائج أفضل. ولن تكون إجاباتنا مرضية تماماً، ولكنها ستكون على الأقل مقبولة كبداية.

تصوُّر أولى لاتجاهات سير الأحداث

منذ آلاف السنين دأبت التكنولوجيات على التحرك باتجاه تحقيق سيطرة أكبر على تركيب المادة وطوال عقود ظلت التكنولوجيا المكروية[٢] تصنع أدوات آخذة فى الصغر، وكان هدفها الوصول إلى أدوات بحجم الجزيئات من أعلى إلى أسفل. وطوال قرن أو أكثر، أخذت الكيمياء تصنع جزيئات آخذة فى الكبر، بهدف الوصول إلى جزيئات كبيرة بما يكفى لتعمل كأجهزة. وهذا البحث يجرى على نطاق عالمىّ والمنافسة فيه آخذة فى الاحتدام.

منذ طرح مفهوم التكنولوجيا النانوية الجزيئية أول مرة، تمكن العلماء من تطوير إمكانات أكثر قوة وفعالية فى الكيمياء والمعالجة الجزيئية (انظر الفصل الرابع). وتوجد الآن صورة أفضل لكيفية المزج بينهما فى الخطوات التالية (انظر الفصل الخامس)، وكيفية الاستفادة من التصنيع الجزيئى المتطور (انظر الفصل السادس). لقد ظهرت التكنولوجيا النانوية كفكرة ومرجعية مُوجهة للأحداث، إلا أنها لم تتجسدْ كحقيقة واقعة حتى الآن.

الأجهزة الجزيئية المتوفرة طبيعيًا متاحة لنا بالفعل، والباحثون يتعلمون كيفية تصميم عدد جديد منها. وهذا الاتجاه واضح وسوف يزداد معدله، لأن الأجهزة الجزيئية الأفضل سوف تساعد على صنع أجهزة جزيئية أفضل منها وهكذا. وبمعايير الحياة اليومية، فإنّ تطوير التكنولوجيا النانوية الجزيئية سوف يحدث تدريجيا عبر سنوات أو عقود، ولكنها بالمعايير العقيمة للتاريخ البشرى سوف تحدث فى "غمضة

---

(2) Microtechnology

عين". ولو رجعنا إلى الماضى لوجدنا أن استبدال تكنولوجيات القرن العشرين كلها سوف نراه بالقطع كثورة تكنولوجية، وهى عملية تنطوى على إنجازات علمية رائعة.

ونحن نعيش اليوم فى نهاية فترة ما قبل عصر الإنجازات العلمية الكبرى، حيث توجد تكنولوجيات إنجازات علمية كبرى وآمال الفكر ومخاوفه وانشغاله بشكل يبدو دائمًا، مثلما كان الحال أثناء الحرب الباردة. غير أنه يبدو أن عصر الإنجازات العلمية الكبرى ليس خاصًا ببعض الأجيال المستقبلية ولكنه مرتبط بوجودنا ذاته. وتلك الإنجازات الكبرى تتشكّل وتتحدد معالمها حاليًا ومن الحماقة افتراض أن نتائجها سوف تتأخر لسنوات كثيرة.

فى الفصول الأخيرة من هذا الكتاب سوف نشرح الكثير مما يفعله الباحثون حاليًا.. وإلى أين تقودنا أبحاثهم، وما هى المشاكل والخيارات المطروحة أمامنا. ولكن لكى تُحسّ بالنتائج، يلزمك معرفة الصورة التى يمكن أن ترسمها التكنولوجيا النانوية. والحقيقة أنه من الصعب استيعاب تلك الصورة، لأن التكنولوجيا المتقدمة الماضية - مثلا أنابيب الموجات الدقيقة(٣)، أشعة الليزر، والموصلات فائقة التوصيل الحرارى، والأقمار الصناعية، والروبوتات، وما شابه ذلك - خرجت بالتتابع على استحياء من المصانع، فى البداية بأسعار عالية واستخدامات محدودة. ولكن التصنيع الجزيئى سوف يكون أكثر شبهًا بالحواسيب، أى إنها تكنولوجيا مرنة لها مجال استخدام أو تطبيق واسع جدًا. ولكن التصنيع الجزيئى لن يخرج من المصانع التقليدية كما حدث للحواسيب، وإنما سوف تحل محل المصانع أو تحل محل، أو تطوِّر وتحدِّث، منتجاتها. وهذا شىء جديد وأساسى وليس مجرّد أداة أخرى منبثقة من القرن العشرين. إنها سوف تظهر حقًا من خلال الأساليب العلمية المطبَّقة فى القرن العشرين، ولكنها سوف تكسر المألوفات فى مجالات التكنولوجيا والاقتصاد والشئون البيئية.

Microwaves (3)

الحواسيب اليدوية كانت ذات مرة أداة قديمة ضخمة نضعها على المكتب وتتكلف ألف دولار، غير أن الإلكترونيات الميكروية[٤] جعلتها أسرع وأكثر كفاءة، وبحجم صغير بحيث يمكن للطفل أن يضعها فى جيبه ورخيصة أيضًا بحيث يستطيع الطفل شراءها. والآن تصوّر ثورة بنفس هذا الحجم ولكنها تنطبق على كل شىء آخر.

المزيد من النتائج: مشاهد من عالم ما بعد الإنجازات العلمية الكبرى

ما تعنيه التكنولوجيا النانوية للحياة البشرية يتجاوز قدرتنا على التنبؤ والتوقع، ولكن هناك طريقة جيدة لفهم ما يمكن أن تعنيه، ألا وهى رسم تصور أو سيناريو ما. والسيناريو الجيد ينبثق منه جوانب مختلفة ومتداخلة للعالم (مثل التكنولوجيات والبيئات والاهتمامات البشرية) فى كيان واحد متماسك. والشركات الكبرى تستخدم سيناريوهات معيّنة لمساعدتها على تصور المسارات التى يمكن أن يسير فيها المستقبل - ليس كتنبؤات ولكن كأدوات للتفكير الخلاق. وعند ممارسة لعبة "ماذا لو"، نرى تلك السيناريوهات تمثل إجابات تجريبية كما تطرح أسئلة جديدة.

والسيناريوهات التالية لا يمكنها أن تمثل ما قد يحدث، لأن أحدًا لا يمكنه ذلك. ولكن يمكنها أن تبين كيف يمكن لقدرات ما بعد الإنجازات الكبرى أن تتناغم مع حياة البشر والبيئات الموجودة على ظهر الأرض. والأرجح أن النتائج سوف تبدو محافظة إلى حد ما من وجهة نظر المستقبل، رغم أنها ستبدو قريبة جدًا من نمط الخيال العلمى المعروف حاليًا. وسوف نناقش فى الفصول الأخيرة القضايا التى تقف وراء تلك السيناريوهات.

سيناريو: الطاقة الشمسية

فى مدينة (فيربانكس) بولاية ألاسكا الأمريكية تثاءبت "ليندا هوفر" وحركت

Microelectronics (4)

مفتاحًا صغيرًا بطرف أصبعها فى صباح يوم شتوىٍّ مظلم.. وعلى الفور أضاء النور من الطاقة الشمسية المُخَزّنة. كان خط مواسير النفط بألاسكا قد توقف منذ سنوات كما توقف مرور ناقلات النفط نهائيًا.

التكنولوجيا النانوية يمكنها رفع كفاءة الخلايا الشمسية، بحيث تصبح فى رخص الصحف، وقوية ومتينة بنفس قوة الأسفلت.. نعم تصبح متينة بحيث يمكن استخدامها فى إعادة رصف الطرق.. وذلك كله من خلال جمع الطاقة بدون اللجوء إلى قطع النباتات والأشجار أو إزالتها. وهذا، جنبًا إلى جنب مع خلايا التخزين الرخيصة، سوف يوفِّر لنا طاقة كهربائية رخيصة (ولكنها لن تكون رخيصة جدا بحيث يتعذر قياسها بالعدادات). ويستعرض الفصل التاسع توقعاتنا للطاقة والبيئة بتفصيل أكبر.

سيناريو: الطب الذى يُعالِج الناس

أصيبت "سو ميللر" من ولاية نبراسكا الأمريكية بوعكة وأصبح صوتها أجشًا لعدة أسابيع، وانتهى الحال بها إلى نزلة برد بشعة فى رأسها. وخلال الشهور الستة الماضية، دأبت على قراءة الإعلانات تحت عنوان (أخيرًا): علاج نزلة البرد، ومن ثم أنفقت دولاراتها الخمسة وحصلت على رشاش للأنف وجرعات من رشاش الحلق. وخلال ثلاث ساعات تخلصت من ٩٩ بالمئة من فيروسات أنفها وحلقها.. والبقية جار التعامل معها. وخلال ست ساعات، أصبحت وسائل العلاج الطبية تلك غير فعالة، كحفنة من التراب المستنشق، ولكن المتحلل حيويًا، وتم قطع استخدامها فى الجسم. وشعرت هى بأن حالتها تحسنت وأنها لن تُعدى أصدقاءها عند تناولهم الغداء معًا.

نظام المناعة فى جسم الإنسان عبارة عن آلية جزيئية معقَّدة تراقب أى فيروسات أو غزاة آخرين يهاجمون الجسم وتتعرف عليهم من عباءاتهم الجزيئية الغريبة. ولكن النظام المناعى بطىء فى التعرف على أى جسم غريب. وبدولاراتها الخمسة اشترت سو ١٠ بلايين آلية جزيئية مجهَّزة للتعرف على أى فيروسات وليس فقط تلك التى هاجمت

سو بالفعل.. وإنما كل واحد من ٥٠٠ نوع من الفيروسات الشهيرة التى تسبب نزلات البرد والإنفلونزا والزكام، وما شابه ذلك.

ومرت أسابيع، ولكن استمرت جشاءة صوت سو التى لديها قبل إصابتها بنزلة البرد، بل وازدادت سوءًا. وتجاهلت هى هذا، خلال إجازة طويلة حصلت عليها ولكن بمجرد عودتها إلى المنزل، شعرت بتعب وذهبت لرؤية طبيبها. وتفحص حلقها وقال: "همممم!".. وطلب منها أن تستنشق رذاذًا معينًا لكى تسعل وتبصق فى قدح ثم تنهمك فى قراءة إحدى المجلات. وظهرت نتيجة التحليل على شاشة بعد خمس دقائق عقب أن صب عينة البُصاق فى جهاز تحليل الخلايا. وعلى الرغم من علمه وخبرته وتدريبه وأدواته، شعر الطبيب ببرودة تسرى فى جسمه عند قراءة نتيجة التشخيص: هناك ورم خبيث فى الحلق، وهو نفس المرض الذى تكرر ظهوره كثيرًا فى أسرته ذاتها.

ضغط على زر "استمر"، وبعد ٢٠ دقيقة نظر إلى الشاشة ليتابع تقدم البحث. وتأكد من أنَّ خلايا سو السرطانية كلها من نوع رئيسى واحد، وهذا النوع أحد ١٦.٣١٤ علامة جزيئية معروفة للأورام الخبيثة. وتلك الأورام الخبيثة يمكن تحديد أماكنها، ومن ثم، يمكن تدميرها بآليات جزيئية قياسية مجهَّزة للتعامل مع تلك العلامات.

وأعطى الطبيب تعليمات إلى جهاز تحليل الخلايا لكى يُجَهِّز بعض "الأجهزة الجزيئية" لملاحقة الخلايا السرطانية. واختبرها على خلايا مأخوذة من العينة ولاحظها جيدًا ورأى كيف أنها تعمل كما هو متوقع، ولذلك أمر الجهاز بتجهيز المزيد منها.

وضعت المجلة على الطاولة ونظرت إلى الطبيب وسألته :"حسنًا.. ما النتيجة يا دكتور؟".

قال: "وجدت بعض الخلايا المشتبه بها، ولكن هذا المستحضر سوف يقضى عليها".. وأعطاها رذاذًا للحلق ومعه حقنة.. وأضاف: "أريد منك أن تحضرى إلىّ بعد ثلاثة أسابيع فقط، لكى أتأكد من النتيجة".

سألته: "وهل يجب عليّ الحضور؟".

قال شارحًا الموقف لها: "كما تعرفين، يجب علينا أن نتأكد من أن الضرر قد اختفى.. ولكن لا داعى للقلق كثيراً قبل حضورك إليّ".

قالت: "نعم، لا بأس.. سوف أتصل لتحديد ميعاد". وانصرفت من العيادة وهى تعتقد أن د. فوجيما طبيب محافظ للغاية وأنه (دقة قديمة).

الآليات الجزيئية للنظام المناعى تدمر بالفعل أقوى أنواع السرطانات قبل أن تكبر جداً ويتم اكتشافها. وبفضل التكنولوجيا النانوية سوف نصنع آليات جزيئية لتدمير تلك التى لا يتمكن نظام المناعة من تدميرها. ويستعرض الفصل العاشر التكنولوجيات النانوية الطبية بتفصيل أكثر.

سيناريو: تنظيف التربة

قامت فرقة كشافة كاليفورنيا فى عام ١٩٧٣ بالسفر سيراً على الأقدام لستة أيام فى أعماق الغابات والبرارى المنتشرة شمال غرب المحيط الهادى.. وقال أحد الكشافين الشباب: "أراهن أننا أول ناس يطأون هذا المكان ويسيرون فيه".

قال رئيس فريق الكشافة: "حسنٌ.. لعلك على صواب فيما يتعلق بالسير.. ولكن انظر هناك إلى الأمام.. ماذا ترون أيها الكشافون؟".

على مسافة عشرين خطوة إلى الأمام، امتدت صفوف من الشجيرات الصغيرة يميناً ويساراً حتى اختفت بين جنوع أشجار الغابة المحيطة.. وصاح كشاف أكبر سنًا قائلا: "انظروا يا شباب!. هذا طريق آخر لتقطيع الأخشاب!".. وعندما أخرج كثير من فتيان الكشافة مجسات من جيوبهم وثبتوها فى أطراف عُصىّ السير التى معهم.

وابتسم "جاكسون" وقال: "لقد مرت عشر سنوات منذ أن عثرت فرقة كشافة كاليفورنيا على شيء ما في هذا الطريق، غير أن الفتيان ما زالوا يحاولون".

انتشر فتيان الكشافة على شكل مروحة ومالوا في مسارهم بزاوية على امتداد الصخور البارزة بالطريق القديم، وأخذوا يجسون الأرض، ويلاحظون قراءات مجساتهم بطرف عصيهم. وفجأة صاح أحدهم على نحو غير متوقع قائلا: "لقد حصلت على إشارة!.. ياه!.. أنا حصلت على روابط كلورية متعددة (PCBs)!".

وفي لحظة قام كل الكشافة وهم يبتسمون بمسح الانسكاب ورسم خريطة له. منذ عشرات السنين انطلقت شاحنة تحمل نفايات كيماوية على طريق التحطيب القديم، وكان بها شق تتسرب منه حمولتها، لذا تركت وراءها أثرًا رفيعًا سامًا. وهذا الأثر قادهم إلى وادٍ صغير وبعض الأسطوانات الصدئة ومسار عريض رائع لقذارة خفية.. وعمت الفرحة والإثارة الجميع.

وضع أفراد فريق الكشافة خرائطهم جانبًا، وتوقفوا عن رحلتهم في اختراق الضاحية المجهولة، وفتحوا غلاف جهاز تحديد مكان القمر الصناعي، من أجل تسجيل خطي الطول والعرض للموقع، ثم أرسلوا رسالة تسجِّل إفادتهم بتنظيف الوادي. وبمجرد انتهاء مسحهم، غيروا وجهتهم مرة أخرى، وهم تواقون للقيام برحلة عودة إلى هناك، أملا في الفوز بنوط أو شعار الجدارة من جراء تنظيف البيئة من المخلفات السامة، وهو شعار يندر الحصول عليه في الوقت الحاضر.

سيناريو: حواسيب الجيب الفائقة

في جامعة ميتشجان، قبض "جويل جريجوري" على قضيب جزيئي بكلتيا يديه وبرمه، وشعر به ضعيفًا إلى حد ما، وكشفت مويجة حمراء دقيقة عن زيادة كبيرة جدًا

فى الإجهاد فى رباط جزيئى مُجهَد موجود فى منتصف القضيب بالضبط. أضاف ذرتين وبرم القضيب مرة أخرى، فأصبح كله مويجات خضراء وزرقاء.. أى أفضل بكثير عن ذى قبل.

أدخل جويل القضيب فى ذراع ميكانيكىّ يقوم بتصميمه، ورفع درجة الحرارة ووضع المجموعة كلها فى حالة حركة. ورقصت ملايين الذرات فى اهتزازة حرارية ودارت التروس وتأرجح الذراع يمينًا ويسارًا بحركة مبرمجة. وبدا ذلك جيدا ولا بأس به. ولكن مازالت أجزاء قليلة فى نماذج لها بالحجم الطبيعى، غير أن إتمام رسالة للدكتوراه يحتاج لوقت، وسوف ينفِّذ التفاصيل الجزيئية لاحقًا.

خلع جويل نظارة العرض الحاسوبى والقفازين وحدّق فى العالم الطبيعى. لقد حان وقت تناول شطيرة وفنجان من القهوة. وأمسك بحاسوبه ووضعه فى جيبه واتجه إلى مركز الطلبة لتناول وجبته.

الباحثون يستخدمون الآن بالفعل الحواسيب لصنع نماذج للجزيئات، وبدأ ظهور "منظومات الحقيقة الافتراضية" التى تمكن المستخدم من التحرك حول صورة الجزىء و: "لمسه" بعد ارتداء قفازين ونظارة يتحكم فيها الحاسوب. لكننا لم نصنع حتى الآن حاسوبًا فائقًا قادرًا على خلق نموذج لجهاز يتكون من مليون ذرة - ناهيك بالطبع عن صنع حاسوب فائق جيبى - إلا أن الحواسيب آخذة بالفعل فى تناقص حجمها وتكلفتها. ومع وجود التكنولوجيا النانوية لصنع أجزاء جزيئية، سوف يُصبح حاسوبًا كحاسوب جويل من السهل صنعه. وعلى سبيل المقارنة، فإنَّ حواسيب اليوم الفائقة سوف تصبح كآلات الجمع القديمة التى كانت تدار بأذرع تدوير يدوية. وسوف يُلقى الفصلان الثانى والثالث نظرة عن قرب على ما يشبه العالم الجزيئى.

سيناريو: الثروات العالمية

خلف مدرسة بإحدى القرى بإحدى الغابات الشجرية على مقربة من نهر (كونجو)، جثم حاسوب مكتبى شخصى - تبلغ قدرته ١٠٠٠ مرة قدر قدرة أى حاسوب فائق تم صنعه فى أوائل تسعينيات القرن العشرين - نصف مدفونًا فى صندوق ممتلئ بمخلفات مراد تدويرها. وفى الداخل، أنهى "جوزيف أدولا" وأصدقاؤه دراساتهم اليومية وهم يلعبون الآن معًا فى عالم مشرق بواسطة حواسيبهم الشخصية التى تبلغ قدرة كلا منها مليون مرة قدر قدرة ذلك الحاسوب القديم الملقى ضمن المهملات. وهم يظلون هكذا فى راحة داخل حجرتهم مكيفة الهواء.

تستخدم الأشجار الهواء والتربة وضوء الشمس لصنع الأخشاب، والأخشاب رخيصة جدًا، ولذا يتم حرقها. والتكنولوجيا النانوية يمكنها أن تفعل ذلك، إذ تصنع منتجات رخيصة كالخشب تمامًا، وأيضًا منتجات مثل الحواسيب الفائقة ومكيفات الهواء والخلايا الشمسية التى تزود تلك المنتجات بالطاقة اللازمة لها. والاقتصاديات الناجمة يمكنها أن تُبقى على غابات الأشجار الاستوائية، بدلا من إحراقها. وسوف يشرح الفصل السابع كيف يمكن إنقاص التكلفة إلى الدرجة التى تمكن العالم الثالث من الحفاظ بسهولة على ثرواتها المادية.

سيناريو: تنظيف الهواء

توقف ارتفاع مستوى غاز ثانى أكسيد الكربون الذى نشأ فى القرن العشرين بجو الأرض، بل وانعكس الموقف تمامًا. الوقود الأحفورى أصبح الآن أمرًا باليًا من الماضى، ولذلك انخفضت مستويات التلوث. والزراعة المتطورة الفعالة حررت الأرض الخصبة وحولتها إلى غابات أشجار مرة أخرى، وتعمل الأشجار النامية على تنظيف الهواء الجوى. والفائض من الطاقة الشمسية من كل طرق العالم المعاد رصفها

تُستخدَم الآن فى تقليل زيادة مستوى ثانى أكسيد الكربون بمعدلٍ ٥ بلايين طن فى العام الواحد. الأحوال المناخية تعود الآن إلى طبيعتها، والبحار تتراجع إلى الشواطئ التاريخية القديمة لها، والمنظومات البيئية بدأت ببطء فى عملية تعافيها واستعادة حيويتها. وفى غضون عشرين عامًا أخرى، سوف يعود الهواء الجوى إلى تركيبه فى عصور ما قبل الصناعة والذى كان عليه تحديداً فى عام ١٨٠٠ ميلادية.

ويستعرض الفصل التاسع مسألة تنظيف البيئة، من أول تقليل الموارد إلى تنظيف وإزالة جوانب الخلل والفوضى الموجودة بالفعل بكل مكان توجد به.

سيناريو: الانتقال إلى الفضاء خارج الأرض

طائرة "جيم سالين"، التى كان مقرراً أن تغادر مطار دالاس الدولى عصراً، مازالت رابضة على الأرض بعد أن تأخرت عن الإقلاع. وراجع جيم الوقت بنفاد صبر، فلو تأخرت الطائرة أكثر من ذلك، فسوف يفقد رحلة الطيران التى ستوصله.

وأخيراً انسابت الطائرة زجاجية السطح على الممر، ورفعت الطائرة بجناحيها الانسيابيين بدنها السمين، وتسلقت الجو وهى مائلة بزاوية وانطلقت باتجاه الشرق. وبعد بضع صفحات من روايته التى يقرأها، قاطع المتحدث جيم بتلاوة تعليمات السلامة مرة أخرى، وإفادة الطيار بأنه سوف يُعَوِّض الوقت الذى ضاع.

ارتاح جيم وهو يسند ظهره على مقعده بينما زادت المحركات من سرعتها وارتد الجناحان وزادت سرعة الطائرة واعتمت السماء حتى أظلمت تمامًا. ومثل صواريخ ثمانينيات القرن العشرين عالية الأداء، أخرجت طائرة جيم بخار ماء صاف. الآن أصبح الطيران فى الفضاء نظيفا وآمنا وروتينيًا. وفى كل عام ينطلق الناس إلى الفضاء أكثر مما يهبطون منه.

الجانب الأكبر من تكلفة السفر فى الفضاء هو تكلفة البرمجيات عالية الأداء والموثوق بها. وبالتصنيع الجزيئى سوف تصنع إنشاءات الفضاء الجوى من مواد فائقة المتانة التى تخلو من أى عيب أو خلل وبتكلفة قليلة. وعلاوة على ذلك، سيكون الوقود رخيصا، مما سيجعل السفر فى الفضاء أكثر سهولة من العبور إلى الجانب الآخر من المحيط. ويتناول الفصل الثامن تصورات وسيناريوهات فتح أبواب العالم والكون خارج جو الأرض.

سيناريو: استعادة السلالات الحيوانية والنباتية

مراسم وطقوس يوم عودة الملكية إلى إنجلترا تكون دائما أحداثًا مؤثِّرة. ولسبب ما، يبكى العجائز دائمًا، رغم أنهم يقولون إنهم سعداء.

وتعتقد "تريسى شتايجلار" وهى تبكى أن ذلك لا يعنى شيئًا، وتنظر مرة أخرى خلال شاشة التمويه إلى شاطئ (تريانجل كى) الرملى وتحدِّق عبر البحر الكاريبى باتجاه شبه جزيرة (يوكاتان)، وتقول لنفسها "قريبًا جدًا سوف يصبح ذلك ملكهم، وهذا شىء رائع ومستمر إلى الأبد".

تريسى وعلماء أخرون من مركز وثائق الكائنات الحية يحتلون أماكن شرفية فى حفل عودة الملكية إلى إنجلترا المقام اليوم. ومنذ منتصف القرن العشرين، لا توجد أى فقمات راهبة ببحر الكاريبى، وإنما فقط، آثار كريهة وبَشِعة لسنوات من عمليات قتلها وفِراء بعض الفقمات وعينات متحفية متيبسة. وقد كافح فريق تريسى لسنوات، قام خلالها بجمع تلك الآثار ودراستها بواسطة أجهزة جزيئية. وكان معروفًا منذ عشرات السنين – وتحديدًا منذ ثمانينيات القرن العشرين – أن جينات (مُورثات) تلك الفقمات قوية ومتينة بما يكفى لكىَ تبقى حية فى الجلود والعظام والقَرون وقشور البيض الجافة اليبسة. وقام فريق تريسى بجمع بعض الجينات، وأعاد تخليق خلايا الفقمات الراهبة.

عكف هذا الفريق العلمى على هذا العمل لسنوات، وعبّر عن شكره للحماية الصارمة - التى حدثت مؤخرًا، ولكنها كانت جيدة بما يكفى - التى أنقذت إحدى سلالات الفقمة الراهبة. وأخيرًا، وضعت فقمة راهبة من هاواى وليدًا لها ينتمى إلى سلالتها النقية جينيًا، وهذا الوليد توأم لآخر مات منذ وقت طويل. والآن يوجد خمسمائة من تلك الذرية، بعضها صغير وبعضها متوسط العمر، وهى متنوعة جينيًا بشكل مناسب، كما أنها اكتسبت خبرة طوال خمس سنوات فى الحياة داخل حدود محطة بيئية ساحلية.

واليوم تتحرك تلك الكائنات بأصواتها الأجشة فى أرجاء العالم لتستعيد بيئتها الطبيعية الملائمة لها. وبينما تراقبها تريسى، فإنها تعتقد أن أصوات تلك السلالات، المعروفة وغير المعروفة، لن يسمعها أحد بعد الآن، لأن تلك السلالات لم تترك خلفها أى ذرية يمكن التعلق بها أو استعادتها. والواقع أن الآلاف (وربما الملايين) من سلالات الكائنات قد اختفت ببساطة من الوجود إثر تدمير بيئاتها الطبيعية من جراء إقامة المزارع وقطع الأشجار وتحطيبها. والناس عرفوا منذ سنوات طويلة أن التجميد أو التجفيف يُنقذ الجينات الوراثية.. كما علموا بتدمير البيئات الطبيعية وأنهم لن يمكنهم إيقاف ذلك، بل إنَّ هؤلاء الأوغاد لم يحتفظوا بأى عينات منها. واكتشفت تريسى أنها أيضًا تبكى فى احتفال عودة الملكية إلى إنجلترا.

لاشك أن الناس سوف يدفعون إلى الأمام استخدامات الأدوية الحيوية التى تنتجها التكنولوجيا النانوية بمعدلٌ سريع من أجل رعاية صحة البشر. ولو زدنا تلك الدفعة قليلا، فسوف تصبح التكنولوجيا النانوية قاعدة جيدة جدًا لاستعادة بعض السلالات التى نعتقد الآن أننا فقدناها إلى الأبد، وذلك لأجل إصلاح بعض الضرر

والأذى اللذين ألحقهما الإنسان لشبكة الحياة. والأفضل أن نحافظ على المنظومات البيئية والسلالات الحية بها كما هى، إلا أن استعادة - ولو بعض السلالات - سوف يكون أفضل بالقطع من لاشىء. والآن توجد بعض عينات محفوظة من سلالات معرضة لخطر الانقراض، ولكن ليس بما يكفى وعادة لأسباب خاطئة. ويُلقى الفصل التاسع نظرة عن قرب على كيفية استعادة المنظومات البيئية، وما هى الإجراءات الواجب اتخاذها الآن على ضوء التصورات والتوقعات المستقبلية.

سيناريو: سباق التسلح غير المتوازن

أفسدت الخلافات بشأن تجارة التكنولوجيا وتطورها العلاقات بين سنغافورة وتحالف اليابان - الولايات المتحدة. وقد بدأت الاستقصاءات الدبلوماسية بخصوص القراءات الزلزالية والسونارية فى بحر الصين الجنوبى، عندما أصبحت فجأة لا لزوم لها، إذ ظهر ما يُقدَّر ببليون طن من أسلحة عسكرية آلية غير مألوفة فى المياه الساحلية فى كافة أرجاء العالم. وبدأت الاتهامات المتبادلة تتطاير بين مجلس النواب وقوات حفظ السلام ومراقبته، مثلا: "لو كنتم قمتم بعملكم---"، "لو كنتم تركتمونا نقوم بعملنا ". وهكذا وفى أواخر شهر أبريل من ذلك العام، ظهرت سنغافورة كقوة عسكرية عُظمى.

إنَّ الإنتاج الرخيص التكلفة والعالى الجودة والعالى السرعة، يمكن أن يتحقق فى أغراض وجوانب كثيرة، ليست كلها جذابة، والتكنولوجيا النانوية أيضا يمكن إساءة استخدامها.

إن الجزيئات تهمنا؛ لأن المادة كلها تتكون من جزيئات، فكل شيء من الهواء إلى اللحم إلى مركبات الفضاء مكون من مادة. وعندما نعرف كيف نرتب الجزيئات بطرق مستحدثة، يمكننا صنع أشياء جديدة، وأيضًا صنع الأشياء القديمة بطرق جديدة. وربما لهذا السبب، قام معهد الأبحاث اليابانى بتعريف "تكنولوجيات التحكم فى الترتيب الدقيق للجزيئات" بأنها تكنولوجيا صناعية أساسية للقرن الحادى والعشرين. وسوف تتيح التكنولوجيا النانوية الجزيئية التحكم الدقيق فى المادة على نطاق واسع وبتكلفة منخفضة، وهكذا تزيح من طريقها مجموعة كاملة من الحواجز التكنولوجية والاقتصادية بضربة واحدة تقريبًا.

والجزيء عبارة عن مجموعة من الذرات مرتبطة ببعضها البعض بروابط قوية (أما الجزيئات المكونة من ذرة واحدة فهى حالة خاصة). ويشير عادة لفظ "جزيء" إلى شيء مكون من عدد من الذرات فائقة الصغر، بحيث يستحيل عدها (تتراوح من بضع ذرات إلى بضع آلاف من الذرات)، ويمكننا القول بدقة أن الإطار المطاطى لشاحنة (مثلا) هو كجزيء كبير جدًا، ويحتوى على ١,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠ ذرة. ولو عددنا كل تلك الذرات، واحدة تلو الأخرى، بصوت عال لاحتجنا إلى حوالى ١٠,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠ بليون عامًا.

ولكن العلماء والمهندسين ليس لديهم حتى الآن طريقة مناسبة للتحكم فى الجزيئات، وذلك أساسًا لأن يدى الإنسان أكبر منها بحوالى ١٠ ملايين مرة. والآن يقوم الكيميائيون ومهندسو المواد بصنع إنشاءات جزيئية مباشرة، بخلطها وتسخينها وما شابه ذلك. وفكرة التكنولوجيا النانوية تبدأ بفكرة "مُجَمِّعة الجزيئات"، وهى أداة تشبه ذراع روبوتية صناعية ولكنها بحجم مجهرىّ. ومجمعة الجزيئات متعددة الأغراض سوف تكون عبارة عن آلية مفصلية مصنوعة من أجزاء جزيئية متينة وتُدار بمحركات

ويتم التحكم فيها بالحواسيب، ويمكنها أن تمسك وتستخدم أدوات مجهرية الحجم تتكون من جزيئات. ومن الممكن استخدام مجمعات الجزيئات لصنع أجهزة جزيئية أخرى، بل يمكنها صنع المزيد من المجمعات الجزيئية. وسوف يكون بمقدور المجمعات والأجهزة الأخرى فى منظومات التصنيع الجزيئى أن تصنع كل شىء تقريبًا، لو توفرت لها المواد الخام الصحيحة. والواقع أن المجمعات الجزيئية سوف توفر "أيدى" مجهرية نفتقر إليها اليوم. (والرجاء من الكيميائيين الصفح عن هذا التحرر الأدبى، إذ إن التفاصيل الدقيقة لروابط الجزيئات وارتباطها ببعضها البعض لا يُغَيِّر من النتيجة).

إنَّ التكنولوجيا النانوية سوف تتيح تحكمًا أفضل فى وحدات بناء الجزيئات وكيفية تحركها واندماجها لتكوين أجسام أكثر تعقيدًا منها. والتصنيع الجزيئى سوف يصنع أشياء، بدءًا من أسفل إلى أعلى، بادئة بأصغر وحدات البناء الممكنة. وأتت كلمة (نانو) فى التكنولوجيا من (نانوس) اليونانية التى تعنى (قِزم أو صغير). وفى العلوم تعنى البادئة (نانو) جزءا واحدا من بليون جزء من شىء ما، مثلما نقول (نانوثانية) و (نانومتر) وهما وحدتان قياسيتان للزمن والحجم فى عالم التصنيع الجزيئى. وعندما تجد هذه البادئة ملصقة بشىء ما، فإنها تعنى أن هذا صُنِع بتشكيل المادة بالتحكم فى جزيئاتها، مثل (جهاز نانوى) و(محرك نانوى) و(حاسوب نانوى). وهذه هى أصغر وأدق الأدوات التى لها معنى فى إطار العلوم السارية حاليًا.

(الرجاء، توخى الحذر من الاستخدامات الأخرى، لأن بعض الباحثين بدأوا يستخدمون البادئة (نانو) للإشارة إلى تكنولوجيات أخرى محدودة النطاق تُستخدم حاليًا فى المعامل. ولكن فى هذا الكتاب، فإنَّ التكنولوجيا النانوية تعنى التكنولوجيا النانوية الجزيئية الدقيقة التى ستطبَّق فى المستقبل. وينطبق أيضًا الاستخدام البريطانى لهذا التعبير على التكنولوجيات الحالية عالية الدقة ومحدودة النطاق، حتى بالنسبة إلى التجليخ الدقيق والقياسات الدقيقة. والاستخدام الأخير مفيد، ولكنه ليس ثوريًا بالمرة).

أحدثت الإلكترونيات الرقمية ثورة فى التعامل مع المعلومات ومعالجتها، وذلك بالتعامل مع المعلومات بسرعة والتحكم فيها بوحدات محددة ومثالية هى:(البت) و(البايت). وبالمثل سوف تحدث التكنولوجيا النانوية ثورة فى التعامل مع المادة ومعالجتها، وذلك بالتعامل مع المادة بسرعة والتحكم فيها بوحدات محددة ومثالية هى: الذرات والجزيئات. والثورة الرقمية تركز على أداة يمكنها عمل أى شكل أو تصميم تريده هى (الحواسيب الممكن برمجتها). وبالمثل ثورة التكنولوجيا النانوية سوف تركز على أداة قادرة على عمل أى شكل أو تصميم ما نريده من الذرات، هى مُجمِّعة الجزيئات الممكن برمجتها. إنَّ التكنولوجيات التى قد نلاقى منها الأمرين اليوم تعانى من الفوضى والتهالك مثل مُسجِّل فونوجراف (حاكى) قديم. ولكن فى المقابل فإن التكنولوجيا النانوية سوف تحضر لنا فرصًا مدمجًا مثاليًا نضرًا وواضحًا تمامًا.

خارطة طريق

القسمان التاليان يقولان لك شيئا أكثر عن سبب جدارة التكنولوجيا النانوية باهتمامك، وعما إذا كان من الممكن فهم أى شيء عن المستقبل. أما الفصول اللاحقة فهى تجيب عن أسئلة مثل الأسئلة التالية:

* من الذى يعمل فى التكنولوجيا النانوية؟ وماذا يفعلون ولماذا؟

* كيف يمكن أن يحقق هذا العمل إمكانات الإنجازات العلمية الكبرى؟

ومتى يمكنه حدوث ذلك؟ وما التطورات التى يجب أن نبحث عنها؟

* كيف ستعمل التكنولوجيا النانوية؟ ومن الذى سيمكنه استخدامها؟

* ماذا تعنيه بالنسبة إلى الاقتصاد؟ والطب؟ والبيئة؟

* ما مخاطرها؟ وما الإجراءات والتنظيمات الأساسية التى نحتاج إليها؟ وماذا ستعنى لسباق التسلح العالمى؟

* ما الذى يمكن أن يحدث من أخطاء عقب ظهور هذه التكنولوجيا، وما الذى يمكننا أن نفعله بشأنها؟

فى أى مجتمع ديمقراطى، لا يحتاج سوى القليل جداً من الناس يمكنهم الفهم التفصيلىّ لكيفية عمل التكنولوجيا، غير أن الكثير من الناس يحتاجون إلى فهم ماذا يمكنها عمله. وفى الفصل التالى، سوف نتقدم خطوة إلى الأمام، من خلال وصف عالم الجزيئات وكيف يعمل - على الأقل كل شىء حولنا وداخلنا يتكون من جزيئات - غير أن القصة الرئيسية هى ماذا تعنى التكنولوجيا للجنس البشرى والغلاف أو المحيط الحياتى الأرضى.

لماذا نتكلم عن هذا؟

إن هذه الهموم والمشاكل التى تشغلنا جميعًا - أقصد نتائج التكنولوجيا النانوية وتداعياتها على حياتنا والبيئة التى نعيش فيها والمستقبل الذى ننتظره - هى التى دفعتنى إلى كتابة هذا الكتاب.

التكنولوجيا النانوية يمكن أن تحضر معها إنجازات علمية كبرى، وتحَل مشاكل هائلة، غير أنها سوف تطرح علينا أيضًا فرصًا لحدوث إساءة استخدام ضخم لها. ومن الضرورى استمرار الأبحاث وتطورها، ولكن يجب أن يتوفر معها جمهور واعٍ وحذر ومنتبه لما يحدث.

دافعنا لطرح تلك الأفكار وتقديمها هو الخوف من الأضرار المحتملة والرغبة فى تجنبها، كما أنه بنفس القدر توقنا إلى تحقيق الخير الممكن ورغبتنا فى البحث عنه.

وداخل هذا الإطار، سوف نركز على الخير الذى يمكن أن تنتجه التكنولوجيا النانوية، مع إعطاء فكرة عامة عن الأخطار والأضرار الواضحة المحتملة. والثورة القادمة سوف يكون أفضل من يديرها الناس الذين لا يعرفون فقط ما يريدون أن يتجنبوه، ولكن أيضًا ما الذى يريدون تحقيقه. وإذا توفر لنا كمجتمع رؤية واضحة للمسار الذى سنتبعه، فإننا لن نحتاج إلى كتالوج دقيق لكل هاوية خطرة أو حقل ألغام على جانب الطريق.

سوف يستمع البعض إلى تأكيدنا هذا ومن ثم يقولون لنا إننا متفائلون. ولكن هل من الحكمة حقًا أن نركِّز أساسًا على كيفية إساءة استخدام التكنولوجيا النانوية؟ أو ربما أن نضع برنامج عمل تفصيلي للغاية لها؟. بيد أنَّ جلوسنا هنا لكى نجهِّز نفسنا لحكاية هذه القصة يعنى أننا فى مكان غير مناسب يوجد فيه الباحث. ففى كتابه بعنوان "كيف انتصرت الخرافة وخسر العالم"، يخبرنا المؤرِّخ (جون ك. بيرتهام) بالتراجع الذى حدث طوال القرن العشرين للعلماء عما رأوه ذات مرة مسؤوليتهم، ألا وهو تقديم محتوى العلم وأساليبه إلى الجمهور الواسع من أجل الصالح العام. واليوم تطرح ثقافة العلم رؤية معتمة لما يُسمَّى "التبسيط". فإذا أمكنك الكتابة بلغة مبسَّطة، فإن ذلك سوف يُعتبر دليلا على أنك غير بارع فى الرياضيات، والعكس بالعكس. ويعترف (روبرت بول)، العضو بهيئة التحرير بالمجلة الأمريكية العلمية عالية المكانة "العلم" بهذا الاتجاه السلبى عندما كتب يقول "بعض الباحثين، إما باختيارهم وإما من خلال وجودهم فى المكان الخطأ، ينجحون فى عيون الجمهور". إذن كيف يمكن للباحث أن يتجنب تلك المتاعب؟ إذا عثرت على شىء ما مهم، فغلفه بلغة غامضة أو مُبهمة. وإذا أدرك الناس أنه مهم، فعليك أن تجرى وتختبئ فى مكان ما. ويَحُثُّ (روبرت بول) العلماء على أن يلعبوا دورا أكبر، غير أن الضغوط الاجتماعية فى المجتمع البحثى تشتد قوتها فى الجانب الآخر.

وردنا على هذا الاتجاه السلبى تجاه التبسيط يمكننا فقط أن نقول إن العلماء والمهندسين يحاولون العمل فى إطار احترافى تمامًا عند نظرهم فى أو تقييمهم لأى

اقتراح، وبعبارة أخرى، فهم يهتمون اهتمامًا شديدًا جدًا بالحقائق العلمية والفنية. ويعنى ذلك أنهم يحكمون على سلامة الأفكار الفنية على ضوء جدارتها الواقعية أو الموضوعية وليس على أسلوب عرضها (المقروء عادة) أو على رد الفعل العاطفى الذى يمكن أن يثيره. التكنولوجيا النانوية تهم الناس كلهم، وهم يستحقون أن يعرفوا كل شيء عن نتائجها وتداعياتها وآثارها على الإنسان ككيان من لحم ودم، وأيضًا تأثيرها على المجتمع والطبيعة. ونحن نشجِّع القراء المثقفين علميًا على مراجعة مسرد المؤلفات الفنية الوارد فى نهاية هذا الكتاب، وتحديد أى أخطاء قد يعثرون عليها فى الأوراق الفنية التى تتناول هذا الأمر. كما نشجِّع غير العلماء الذين يقابلون نقادًا متنورين علميًا على أن يطلبوا منهم طرح نقد فنى محدَّد وغير مُبهم. وسوف نناقش فى الفصل الثالث بعض أوجه النقد التى تم تقديمها بالفعل. وتدل سنوات من المناقشات مع العلماء والمهندسين - سواء علنًا أو فى مقابلات خاصة أو فى مؤتمرات أو خلال الموضوعات الصحفية - أنَّ قضية التكنولوجيا النانوية قوية وصلبة. والآن تُسرع الصناعة اليابانية والأوروبية والحكومات والباحثين الجامعيين الخُطى على طريق التكنولوجيا النانوية، كما أن هناك المزيد من الأبحاث الأمريكية التطبيقية. وقد بدأ بعض الباحثين اعتبار ذلك هدفًا واضحا للجميع.



A serious problem. (Calvin and Hobbes. Copyright © 1989 by Universal Press Syndicate. Reprinted with permission. All rights reserved)

مشكلة خطيرة

كلمات تعوق التفكير الصحيح

يُعانى الأمريكيون، وهم غالبًا فى مقدمة الشعوب فى مجال العلم والتكنولوجيا، من صعوبة غريبة فى التفكير فى المستقبل. ويبدو أن اللغة لها دور ما فى هذا الموضوع.

إذا كان شىء ما ينتمى إلى، أو يبدو أنه سيحدث فى المستقبل، فإننا نسميه "مستقبلى". وإذا لم يُنه ذلك المناقشة المُحتدمة، فإننا نقول إنه "يبدو مثل الخيال العلمى". وهذه الأوصاف تُذكّر السامعين (أو القراء) بالقصص الخيالية المضحكة فى خمسينيات القرن العشرين، مثل الصواريخ التى تذهب إلى القمر والهاتف المرئى (الذى ينقل صوت المتحدّث وصورته) ومسدسات الأشعة القاتلة والروبوتات الآلية، وما شابه ذلك. وبالطبع كل تلك الأحلام تحققت بالفعل فى ستينيات القرن العشرين، لأن العلم ليس "خيالا". واليوم يمكننا القول ليس فقط كيف نصنع أدوات جديدة من قصص الخيال العلمى، ولكن أيضًا – وهذا هو الشىء الأكثر أهمية فى كل الظروف – كيف نصنعها بتكلفة قليلة وبوفرة. نحن محتاجون للتفكير فى أمور المستقبل، واستخدام أسماء مزعِّجة أو غامضة لها لن يساعدنا أبدا.

والعجيب أن اللغة اليابانية يبدو أنها تخلو من أى كلمة ذمّ أو تحقير أو انتقاص من قيمة أى شىء مستقبلى أو ينتمى إلى المستقبل. والأفكار الخاصة بتكنولوجيات المستقبل قد تُسمَّى (ميراينو) (أى: مستقبلى، مثل أمل أو هدف)، (شوراى تيكى) (أى: تطور متوقع، ولو كان سيحدث بعد عشرين عاما مثلا)، و(كوزونو) (أى: خيالى فقط، بمعنى أنه مخالف للقوانين الفيزيائية أو الاقتصادية).

وهناك اعتراض أخير، هو الزعم بأنه ليس هناك مغزى من التفكير فى المستقبل، لأن كل أمور المستقبل معقّدة ولا يمكن التنبؤ بها. والحقيقة أن هذا الكلام يأخذنا إلى بعيد، بيد أن به غير قليل من الحقيقة، وهو يستحق ردا معقولا عليه.

مشكلة عويصة

- لقد أظلنا عقد جديد.

- نعم، شيء عظيم جداً.. يممممم!

- ولكن أين السيارات الطائرة، وأين المستعمرات القمرية؟ وأين الروبوتات الشخصية والأحذية التى تناسب انعدام الجاذبية، هاهاه؟..

أتسمى ذلك عقداً جديداً؟.. أتسمى ذلك المستقبل؟؟.. ها!

- وأين مجموعات الصواريخ؟ وأين أشعة التفتيت والتحطيم؟ وأين المدن الطائرة؟

- بصراحة، أنا لست متأكداً من أن الناس لديهم عقول تحسن تدبير التكنولوجيا التى عندهم بالفعل.

- أعنى انظر إلى هذا!.. ما زال لدينا طقس؟!.. أرجوك ارحمنى!

صعوبة التطلع إلى الأمام

إذا كان مستقبلنا سيتضمن التكنولوجيا النانوية، فعندئذ، سوف يكون من المفيد أن نفهم ما الذى يمكننا عمله بحيث يتيسر لنا وضع خطط أكثر معقولية لأسرنا ووظائفنا وشركاتنا ومجتمعنا كله.. غير أن الكثير من الأفراد الأذكياء سوف يقولون إن الفهم هنا مستحيل، لمجرد أن المستقبل لا يمكن التنبؤ به. ولكن هذا يعتمد بالطبع على ما تريد التنبؤ به:

- الطقس بعد شهر من اليوم؟.. إذن انس ذلك؛ لأن الطقس متقلب بطبيعته.

- موضع القمر بعد قرن من اليوم؟.. هذا أمر سهل القمر حركته منتظمة فى مداره كالساعة.

– ما شركة الحواسيب الشخصية التى ستتولى الريادة بعد عشرين عامًا من الآن؟.. أتمنى لك حظًا سعيدًا، لأن الشركات الكبرى الحالية لم تكن موجودة أصلا منذ عشرين عامًا.

– هل ستصبح الحواسيب الشخصية أكثر قدرة وكفاءة؟.. هذا أمر مؤكد وقطعىّ.

وهلم جرا. ولكن إذا أردت أن تقول شيئا ما معقولا عن مستقبل التكنولوجيا النانوية، فالمشكلة هى أن تسأل الأسئلة الصحيحة وتتجنب الأخطاء والمزالق النمطية. وفى كتابه "الأخطاء الهائلة: التنبؤ وأسطورة التغيرات التكنولوجية السريعة"، يستعرض (ستيفن شنارز) تلك المزالق وتأثيراتها على التنبؤات الماضية. ونحن سوف نستعير هنا بعضًا من تعميماته، مع إدخال بعض التعديلات عليها، ومن ثم، نطرح هنا اقتراحاتنا بشأن كيفية الوقوع فى الخطأ الكبير عند التنبؤ المستقبلى:

* تجاهل الحقائق العلمية أو الظن والتخمين.

* نسيان السؤال عما إذا كان هناك أحد يريد المنتج أو الموقف المتوقع أم لا.

* تجاهل التكلفة.

* محاولة التنبؤ بشأن ماهية الشركة أو التكنولوجيا التى ستحرز قصب السبق.

وعند النظر إلى ما نتوقعه من التكنولوجيا النانوية – أو أى تكنولوجيا أخرى – يجب علينا تجنب كل النقاط السابقة، حيث إنها سوف تقودنا إلى بعض السخافات أو الترهات الكبرى. وذات مرة فى حدث كلاسيكى يتسم بخطأ عجيب، اخترع شخص ما فكرة أن الحبوب سوف تحل محل الطعام فى يوم ما، ولكن الناس يحتاجون إلى طاقة ليعيشوا، والطاقة معناها سعرات حرارية، وهى تعنى الوقود، والوقود يشغل حيزًا معينًا. ولكى تعيش على الحبوب، اذن، يلزمك أن تبتلع منها ملء راحة يدك. ويُشبه ذلك تناول طعام كلب مجروش لا طعم له، وهذه هى الفكرة بالكاد. وباختصار، فإن التنبؤ بالحبوب بديلا للطعام تجاهل الحقائق العلمية. ويشبه ذلك ما سمعناه ذات مرة من

وعود بعلاج لمرض السرطان، بيد أن ذلك كان معتمدا على ظن أو تخمين بشأن حقائق العلم، وهو الظن بأن السرطان مرض واحد بشكل ما، وعلى ذلك، فإن له نقطة ضعف واحدة ومن ثم علاجا واحدا. لكن هذا الظن كان خطأ، ولذلك، نجد أن التقدم نحو علاج السرطان بطيء إلى حد ما.

قبل ذلك طرحنا سيناريو يتضمن العلاج النمطي للسرطان بواسطة التكنولوجيا النانوية. وهذا السيناريو يعتمد على حقائق معروفة حاليًا: الأمراض السرطانية تختلف عن بعضها البعض، وكل نوع منها يتم تمييزه بعلاماته ومؤشراته الجزيئية. فالأجهزة الجزيئية يمكنها التعرف على الدلائل أو المؤشرات الجزيئية، ومن ثم، يتم تجهيزها للتعرف على أنواع معينة من الخلايا السرطانية وتدميرها بمجرد تكوينها. وسوف نتناول التطبيقات الطبية للتكنولوجيا النانوية لاحقًا فى الفصل العاشر.

ولكن حتى التكنولوجيا النانوية، لا يمكنها حشر وجبة طعام فى حبة واحدة، ولكن لا بأس بذلك. فاقتراح حلول الحبوب محل الطعام لم يتجاهل الحقائق فقط، وإنما تجاهل ما يريده الناس... مثلا، أشياء مثل الحديث على مائدة العشاء ووجبات الطعام المبتكرة العرقية. وذات مرة وعدتنا المجلات ببناء مُدن تحت سطح البحر، ولكن من منا يريد أن يعيش فى جو رطب للغاية وقارس البرودة كهذا؟ لقد أثبتت كاليفورنيا والحزام الشمسى الأمريكى أنهما أكثر مناسبة من ذلك. ومرة أخرى، وعدنا البعض بإنتاج سيارات تتكلم معنا، ولكن بعد تجربة تلك السيارات المزعومة، فإن الناس يفضلون السيارات الفاخرة التى تنتجها شركات تعدنا بالهدوء والسكينة.

الكثير من الرغبات البشرية يسهل توقعها والتنبؤ بها، لأنها قديمة وثابتة: فالناس يريدون أفضل رعاية طبية وإسكان وسلع استهلاكية ونقل وتعليم وهلم جرا.. والأفضل أن يتم ذلك بتكلفة أقل ودرجة أمان أكبر وفى بيئة نظيفة. وعندما تدفعنا قدراتنا المحدودة إلى اختيار نوعية أفضل أو تكلفة أقل أو سلامة أكثر أو بيئة أنظف، فإن قراراتنا تصبح صعبة. وسوف يشكل لنا التصنيع الجزيئى خطوة أكبر فى اتجاه

النوعية الأفضل والتكلفة الأقل وزيادة الأمان والبيئة الأنظف. (غير أن الخيارات بين كم مقدار أو نسبة كل واحدة منها يظل باقيًا). والحقيقة أنه لا توجد حاليًا طلبات سوقية على "التكنولوجيا النانوية" بذاتها بقدر ما هى طلبات كبيرة على ما يمكنها أن تفعله لنا.

إن تجاهل التكلفة كان أمرًا شائعًا بين المتنبئين، فبناء المدن تحت سطح الماء سوف يكون مكلفًا جدًا، رغم أنها تحقق بعض الفوائد البسيطة. والبناء فى الفضاء له فوائد أكثر، لكنه بالطبع، سيكون أكثر تكلفة منها بكثير، سواء استخدمنا التكنولوجيات الماضية أو الحالية. والكثير من ملفات التنبؤات الجريئة تجمّعت عليها الأتربة على الأرفف، لأن تكاليف التطوير والتصنيع المقترنة بها هى أيضًا مرتفعة للغاية. وبعض أمثلتها تشمل الروبوتات الشخصية والسيارات الطائرة والمستعمرات المريخية.. التى ما زالت تبدو أقرب إلى الخيال العلمى فى خمسينيات القرن العشرين منها إلى الإمكانات العملية، وبلا شك، فإنَّ التكلفة سبب رئيسىٌ لها.

التصنيع الجزيئى يتعلق جزئيًا بتقليل التكلفة. فكما ذكرنا سابقًا، فالأجهزة الجزيئية فى الطبيعة تصنع الأشياء بتكلفة قليلة جدًا، مثل الخشب والبطاطس والتين. والأشجار أكثر تعقيدًا من مركبات الفضاء، ولذلك، كيف تكون مركبات الفضاء أعلى سعرًا من الأشجار؟.. يقول (جوردون تولوك) أستاذ العلوم الاقتصادية والسياسية بجامعة أريزونا عن التكنولوجيا النانوية الجزيئية: "إنَّ تأثيرها الاقتصادى سيجعلنا كلنا أكثر ثراء". وفكرة أو تصور صنع منتجات متطورة بنفس سعر البطاطس يعطينا سببًا وجيهًا لأخذ كثير من ملفات التنبؤات القديمة من الأرفف. ونحن نرجو ألا تعبأ بالأتربة المتطايرة، عندما ننظف تلك الملفات قبل أن نطلع عليها.

وحتى لو بقينا داخل أسر الحدود المعروفة حاليًا للعلم، وركزنا على الأشياء التى يريدها الناس واهتممنا بالتكاليف، فمن الصعب تحديد من هو الفائز. فتطوير التكنولوجيا يشبه سباق الخيل، فالكل يعرف أن حصانًا ما سيفوز، لكن من الصعب

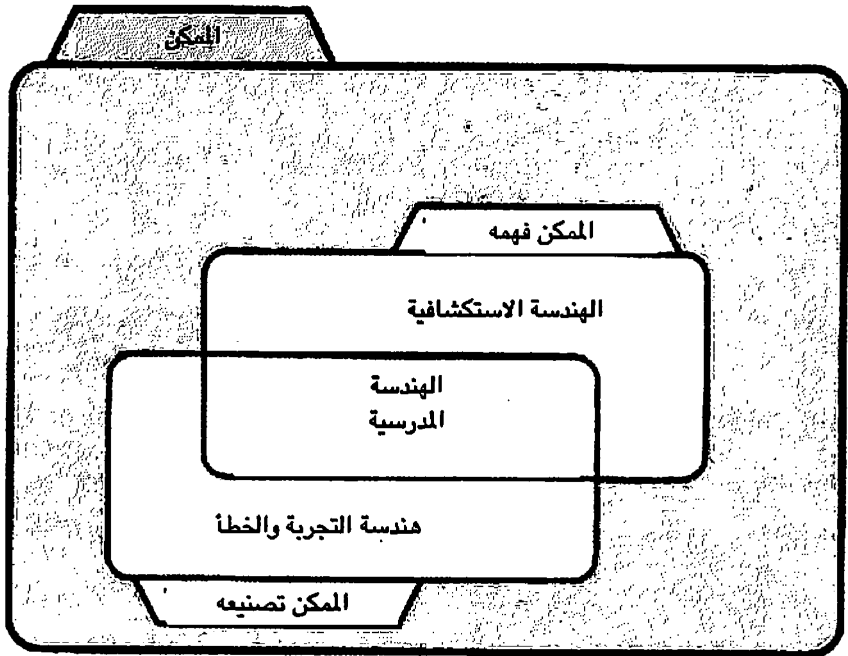
فعلا معرفة من هو هذا الحصان (والذى يستحق الفوز بغنيمة كبيرة). وكل من مديرى الشركات الذين يراهنون على المال، والباحثين الذين يراهنون على مستقبلهم المهنى، عليهم أن يلعبوا هذه اللعبة، وغالباً ما يخسرون. والتكنولوجيا قد تعمل وتوفر أشياء مفيدة وبتكلفة أقل منها فى العام السابق، غير أنها ما زالت تُهزم فى الأسواق من قِبَلِ شىء ما غير متوقع، لكنه أفضل. ولكى تعرف أى التكنولوجيتين التى ستفوز، عليك أن تعرف كل البدائل المطروحة، سواء بدأ إنتاجها أم لا.. وأتمنى لك حظًا سعيداً!؟.

نحن لن نحاول أن نلعب هذه اللعبة هنا. والتكنولوجيا النانوية (مثل أى صناعة حديثة) تصف مدى واسعًا من التكنولوجيات. ومع ذلك فإنَّ التكنولوجيا النانوية هى شكل أو آخر من فكرة واضحة: هى أنها سوف تكون تتويجًا لاتجاه قديم ناحية تحقيق تحكم أكبر فى تركيب المادة. والتنبؤ بفوز تكنولوجيا معينة على كل سباقات التكنولوجيات الأخرى يشبه التنبؤ بأى حصان سوف يفوز فى السباق (وهو بخلاف أن تقول سباق كلاب الداشهوند!). والأرجح بالقطع أن التكنولوجيا المبنية على التحكم الدقيق فى تركيب المادة سوف تفوز على أى تكنولوجيا أخرى مؤسسة على التحكم البسيط فى تركيب المادة. وهناك تكنولوجيات أخرى كسبت بالفعل سباقات بالمعنى الحرفى لكلمة سباق، من حيث إنها احتلت المنزلة الأولى قبل غيرها. بيد أن القليل من التكنولوجيات سوف يفوز من حيث اعتباره الأفضل.

هندسة استطلاعية (استكشافية)

مازالت دراسات التكنولوجيا النانوية وبحوثها الآن فى مرحلة الهندسة الاستكشافية (استطلاعية)، وهى تتحرك الآن لتوها إلى مرحلة تطوير الهندسة. والفكرة الأساسية فى الهندسة الاستكشافية بسيطة، فهى تجمع بين المبادئ الهندسية والحقائق العلمية المعروفة لتكوين صورة للإمكانات التكنولوجية المستقبلية. والهندسة

الاستكشافية تتطلع إلى الإمكانات المستقبلية لمساعدتنا على توجيه انتباهنا فى الوقت الراهن. والعلم - خصوصًا علم الجزيئات - تقدَّم سريعًا فى العقود الأخيرة. وليس هناك حاجة لانتظار المزيد من الإنجازات العلمية الكبرى بُغية تحقيق إنجازات هندسية كبرى فى مجال التكنولوجيا النانوية.



أشكال فن فى الهندسة الاستكشافية - هدية من ك. إريك دريكسلر

يبين لنا الشكل السابق كيفية ارتباط الهندسة الاستكشافية بنوعين معروفين من الهندسة. كل من هذين النوعين يعمل داخل حدود الممكن التى تنظمها القوانين المعروفة وغير المعروفة. النوع الأكثر ألفة لدينا هو "الهندسة المدرسية" التى نتعلمها من الكتب الدراسية. وهذه الهندسة المدرسية تغطى التكنولوجيات المفهومة أو التى يمكن فهمها

(وبالتالى يمكن تدريسها) وفى نفس الوقت، التصنيعية أو الصناعية (وبالتالى يمكن استخدامها). إلا أن التكنولوجيات الأخرى يمكن استخدامها فى التصنيع، ولكن لا يمكننا فهمها، وأى مهندس يمكنه إعطاء أمثلة على أشياء تعمل، بينما هناك أشياء أخرى لا تعمل، بدون أى سبب مفهوم. ولكن مادامت تعمل، وتعمل بشكل صحيح ومنتظم، فإنه يمكن استخدامها بثقة تامة. وهذا هو عالم "هندسة التجربة والخطأ" المهم جداً فى صناعاتنا الحديثة. والواقع أن تزليق كراسى التحميل بالمعدات والمواد اللاصقة وكثير من تكنولوجيات الصناعة تقدمت بطريق التجربة والخطأ.

الهندسة الاستكشافية تغطى التكنولوجيات التى يمكن فهمها، ولكنها ليست صناعية – حتى الآن. والتكنولوجيات فى تلك المرتبة مألوفة للمهندسين، بالرغم من أنهم يصممون عادة تلك الأشياء من أجل المتعة واللهو فقط. وعلى ذلك فهناك الكثير المعروف فى علوم الميكانيكا والديناميكا الحرارية والإلكترونيات وهلم جرا.. بحيث يمكن للمهندسين غالبًا حساب ما سوف يفعله شىء مل بمجرد وصفه لهم. بيد أنه ليس ثمة سبب فى أن كل شىء يمكن وصفه بدقة يمكن تصنيعه – فالضوابط والقيود تختلف من شىء إلى آخر. والهندسة الاستكشافية بسيطة بنفس قدر الهندسة المدرسية، غير أنه لا المخططون العسكريون ولا المديرون التنفيذيون بالشركات يرون أنها تعود عليهم بأرباح كثيرة، وبالتالى، لم تلق الكثير من الاهتمام بعد.

إنَّ مفاهيم وتصورات التصنيع الجزيئى والتكنولوجيا النانوية الجزيئية ظهرت نتائج مباشرة لأبحاث الهندسة الاستكشافية المطبَّقة على المنظومات الجزيئية. وكما لاحظنا سابقًا، الأفكار الرئيسية كان يمكن ظهورها منذ أربعين عامًا مضت، لو اهتم أحد بذلك.. ولكن بالطبع كان كل من العلماء والمهندسين مشغولين للغاية باهتمامات أكثر فورية وإلحاحًا. أما الآن ونحن على عتبة تكنولوجيا نانوية تقترب منا، فإنَّ اهتمامنا يجب أن يتركز على ما تقودنا إليه الخطوات التالية.

يبدو أن التكنولوجيا النانوية موجودة فى المكان الذى يسير إليه العالم الآن، إذا استمرت التكنولوجيا فى التقدم.. ويضمن لنا التنافس، من الوجهة العملية، أنَّ هذا التقدم سوف يستمر. وهذه التكنولوجيا سوف تفتح لنا آفاقًا هائلة من فرص الاستفادة منها، وأيضًا كمًا هائلا من فرص إساءة استخدامها. وسوف نطرح فى هذا الكتاب سيناريوهات تعطينا إحساسًا بالتوقعات المحتملة والأشياء الممكنة، ولكننا لن نطرح أى تنبؤات بما سوف يحدث فى المستقبل. وسوف تتوقف اختيارات الإنسان وأخطاؤه على سلسلة من العوامل والبدائل التى تتجاوز ما نتمنى أن يحدث فى هذا المستقبل.

الفصل الثانى

عـالم الجزيئـات

التكنولوجيا النانوية سوف تكون تكنولوجيا صاعدة من أسفل إلى أعلى، أى إنها ستبنى كل الأجسام من المستوى الجزيئى. إنها ستدخل ثورة فى قدرات الإنسان - مثل تلك التى انبثقت من الزراعة أو الآلات الميكانيكية. بل إنه يمكن استخدامها لعكس الكثير من التغيرات التى أحدثتها الزراعة أو الآلات الميكانيكية. ولكننا، نحن البشر، مخلوقات عملاقة، وليست لدينا أى خبرة مباشرة بعالم الجزيئات فائقة الصغر، وهذا يجعل التكنولوجيا النانوية من الصعب تخيلها، وبالتالى من الصعب فهمها.

العلماء الذين يعملون مع الجزيئات يواجهون هذه المشكلة فى تلك الأيام وبمقدورهم غالبًا حساب كيفية تصرف الجزيئات، ولكن لكى يفهموا تلك التصرفات فإنهم يحتاجون إلى أكثر من مجرد أكوام من الأرقام.. إنهم يحتاجون إلى صور وأفلام سينمائية ومحاكات تبادلية الفعل، ومن ثم، فإنهم ينتجونها بمعدلات متزايدة. وقد أطلقت مؤسسة العلوم القومية بالولايات المتحدة برنامجا فى "التصور العلمى" ليخدم جزئيًا فى عملية تكييف الحواسيب الهائلة مع مشكلة تصوير عالم الجزيئات.

الجزيئات أجسام تؤثر بقوى معينة على بعضها البعض. ولو كانت يداك صغيرتين بما يكفى، لأمكنك إمساكها وعصرها وسحقها فى بعضها بعضا. وفهم عالم الجزيئات يشبه كثيراً فهم أى عالم مادى آخر.. أى فهم حجمها وشكلها ومقاومتها والقوة التى تؤثر بها وحركتها وما شابه ذلك، أى فهم الفروق مثلا بين الرمل والماء والصخر أو بين

الفولاذ وفقاعات الصابون. وأدوات التصور أو التخيل الحالية تعطى إحساسًا بما سيكون ممكنًا لحواسيب الغد السريعة و"لحالات الواقع الافتراضى" الأفضل ومحاكاة البيئات التى تجعلك تلف العالم "الموجود" فقط كنموذج داخل الحاسوب. وقبل مناقشة التكنولوجيا النانوية وكيفية ارتباطها بالتكنولوجيات الحالية، دعنا نحاول الوصول إلى فهم أكثر دقة لعالم الجزيئات، بواسطة وصف محاكاة كامنة فى أحد السيناريوهات. وفى هذا السيناريو، فإن الأحداث والتكنولوجيات المذكورة التى حدثت فى عام ١٩٩٠ - أو قبل ذلك - دقيقة تاريخيًا، أما تلك التى لها تواريخ لاحقة على ذلك التاريخ، فإما أنها تنبؤات أو مجرد عناصر فى السيناريو. وقد كُتبت التفاصيل الوصفية فى تلك المحاكاة لتناسب التصميمات والحسابات المعتمدة على بيانات علمية قياسية، أى إن العلم هنا حقيقى وليس خيالاً علمياً.

استكشاف عالم الجزيئات

فى أحد السيناريوهات فى الفصل السابق، رأينا "جويل جريجورى" يتعامل مع الجزيئات فى عالم الواقع الافتراضى باستخدام نظارة فيديو خاصة وقفازين يتأثران باللمس وحاسوب جبار.. ولكن يجب أن يتمكن الناس فى أوائل القرن الحادى والعشرين من فعل ما هو أفضل من ذلك. والآن تخيَّل أنك ستنام نومًا طويلاً جداً اليوم ثم تستيقظ بعد عشرات السنين فى إطار عالم التكنولوجيا النانوية.

فى القرن الحادى والعشرين سوف يكون من السهل أن تصنع الأشياء بدون أن تفهمها، ربما أكثر مما حدث فى القرن العشرين. غير أن الكثير من التكنولوجيا سوف تبدو للزائر الجديد أقرب إلى السحر، وهذا بالطبع غير مريح له ويسبب استياءه. وبعد بضعة أيام، تريد أن تفهم ما هى التكنولوجيا النانوية بشكل مُبَسَّط. وقديمًا فى القرن

العشرين كان أكثر التعليم يتم بواسطة كلمات جافة ومملة وبعض الصور البسيطة، لكن الآن، ولموضوع مثل هذا، من الأسهل استكشاف عالم محاكى، أو عالم من المحاكاة. وهكذا تقرر أن تستكشف محاكاة لعالم الجزيئات.

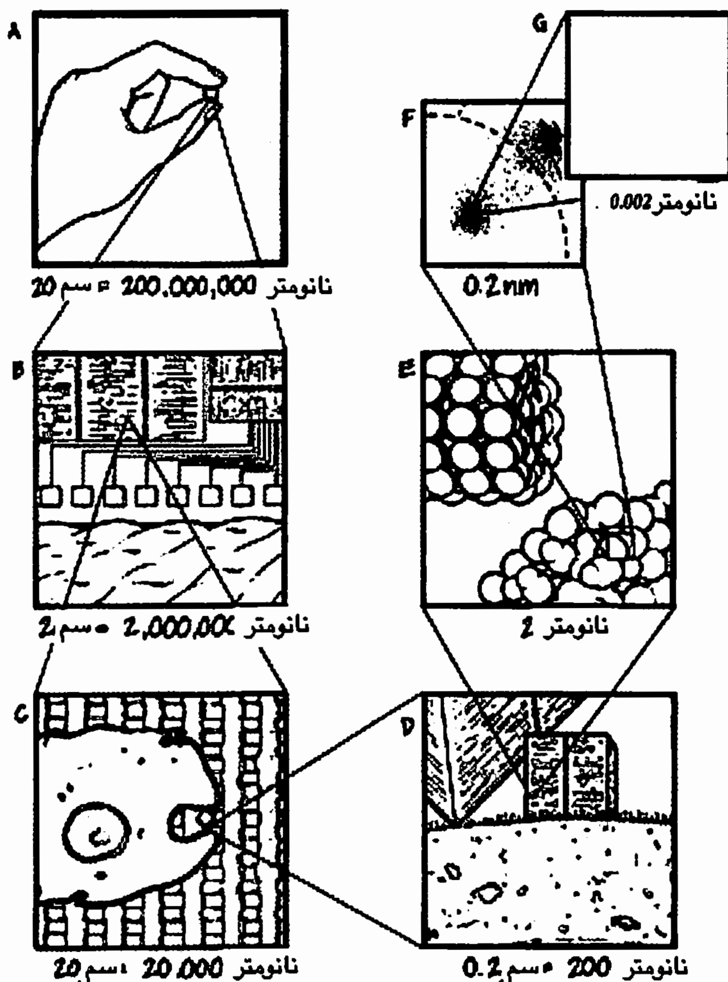
عندما تقرأ الكتيب، تجد حقائق كثيرة مُضجرة عن المحاكاة ودقتها فى وصف الأحجام والقوى والحركات وهلم جرا، وشبهها الشديد بأدوات التشغيل أو العمل التى يستخدمها طلاب الهندسة والمحترفون، وكيف أنه يمكنك شراء واحدة منها لمنزلك وما شابه ذلك. ويشرح لك الكتيب كيف يمكنك أن تدور فى رحلة داخل جسم الإنسان وترى التكنولوجيا النانوية المتقدمة وهى تعمل، وكيف تتسلق بكتيريًا... إلخ. ولكونك من المبتدئين، فإنك تقرر القيام بجولة تمهيدية: أى تشاهد عمليات محاكاة لأجسام حقيقية من القرن العشرين جنبًا إلى جنب مع أفكار التكنولوجيا النانوية الجذابة فى القرن العشرين.

وبعد دفع رسوم منخفضة وحفظ بضع جمل خاصة ببعض مفاتيح تشغيل، عن ظهر قلب (أى تغيير لجملة "أخرجنى من هنا!" سوف يقوم بأهم وظيفة)، سوف ترتدى بذلة طاقة وتضع فى جيبك مرشداً سياحيًا متحدثًا، ثم تدخل فى حجرة المحاكاة وتثبِّت شريط نظارة الفيديو فوق عينيك. وعندما تنظر خلال تلك النظارة، سيبدو لك أنك فى حجرة بها طاولة تعلم أنها غير موجودة حقيقة هناك، وترى جدران تبدو لك بعيدة جداً بحيث لا تناسب أبدا حجرة المحاكاة. بيد أن خدعة وجود مشاية رياضية ثابتة فى أرضية الحجرة تجعل المرء يشعر أن السير إلى الجدران يبدو طويلا جداً، وعندما تسير عائداً وتضغط بإبهامك على الطاولة تشعر بأنها صلبة، لأن بذلة الطاقة توقف يدك بقوة فى المكان الصحيح بالضبط. بل حتى يمكنك أن تحس بملمس النقوش الموجودة بقوائم الطاولة، لأن قفازى البذلة يضغطان أطراف أصابعك بالأشكال الصحيحة وأنت تتحرك.

وعملية المحاكاة ليست مثالية تمامًا، لكن من السهل تجاهل عيوبها. وعلى الطاولة، توجد (أو يبدو لك أن هناك) شريحة حاسوب سليكونية صنعت فى تسعينيات القرن العشرين. وعندما تمسك بها، طبقًا للتعليمات الموصوفة للمبتدئين، فإنها تبدو، كما فى الشكل (1A). وعندئذ تقول "صَغرنى!" وفى الحال، يبدو لك العالم وهو يتسع.

الرؤية والحركة

أنت تشعر كأنك تسقط باتجاه سطح شريحة الحاسوب، وفى نفس الوقت، حجمك يصغُر بسرعة. وبعد لحظة، يبدو لك الأمر تقريبًا كما بالشكل (1B)، وإبهامك ما زال هناك ممسكًا بها. ويصبح العالم أكثر ضبابية ثم يبدو لك أن كل شىء يتحرك بشكل خاطئ؛ وأنت تقترب من مستوى أو حجم الجزىء، فإنه يكون أقرب إلى ضباب لا ملامح له. وتشعر بوخز أو دغدّغة فى جلدك من جراء تعرضك لاصطدامات صغيرة، ثم تشعر بضربات قوية كما لو كانت كريات زجاجية تُقذَف تجاهك بقوة. وتشعر بأن ذراعيك وساقيك عالقة فى اضطراب ما.. وتدفع نفسك إلى الأمام وإلى الخلف بقوة أكبر فأكبر. وتصطدم الأرض بقدميك فتقع وتلتصق بالأرض كذبابة التصقت بورقة قتل ذباب مُصَمَّغة.. وتشعر بأنك تُضرَب بقوة حتى تكاد تتألم. وتطالب بالواقعية، وتنفعك عندئذ حدود السلامة المبيَّنة فى بذلة المحاكاة، بحيث تمنع حركات المحاكاة الحرارية لجزيئات الهواء وحركات ذراعيك ذاتهما من مواصلة ضربك حتى تفقد الوَعى.



الشكل (١): قوى العدد ١٠

الإطار (A) يبيّن يداً تمسك بشريحة حاسوب. وهذه الشريحة مُبَيّنة مُكَبّرة ١٠٠ مرة فى الإطار (B). ومعامل آخر للتكبير ١٠٠ مرة (C) يبيّن خلية حية موضوعة على الشريحة لتوضيح الحجم.

وهناك معامل آخر للتكبير ١٠٠ مرة (D) يبيّن حاسوبين نانويين بجوار الخلية. الحاسوب الأصغر (الظاهر ككتلة) له تقريبًا نفس قوة الشريحة المبينة بالإطار الأول، والأكبر (الذى يظهر ركنه فقط) له نفس قوة حاسوب ضخم من الذى كان يتم صنعه فى منتصف ثمانينيات القرن العشرين. وهناك معامل آخر للتكبير ١٠٠ مرة (E) يبيّن بروتينًا غير منتظم موجود بالركن الأسفل الأيمن للإطار تنتجه الخلية، وهناك ترس أسطوانى من صناعة المجهريات الجزيئية بالركن الأعلى الأيسر من الإطار. ويأخذ معامل صغير للتكبير ١٠ مرات، يبيّن الإطار (F) ذرتين داخل هذا البروتين، مع تمثيل السحب الإلكترونية بالخط المنحنى المُرَقَّط. وهناك معامل أخير للتكبير ١٠٠ مرة (G) يُظهر نواة الذرة كنقطة فائقة الصِغَر.

يأتى أمر "توقف!" لكى يريحك من الجذب والدفع والضرب المكتوم فى بذلتك، ثم يجعل الأمر "تضبيطات قياسية" العالم من حولك أكثر معقولية. وتتغير عملية المحاكاة وتقدِّم لك الخدع القياسية. عيناك المحاكيتان الآن تصبحان أصغر من موجة الضوء مما يجعل تركيز الضوء مستحيلاً، غير أن نظارتك تجعل بصرك حادًا جدًا، بحيث ترى الذرات من حولك ككريات صغيرة. (أجهزة التكنولوجيا النانوية عمياء مثلما كنت بالضبط منذ لحظة، ولا يمكنها خداعك). أنت الآن فوق سطح شريحة حاسوب إنتاج تسعينيات القرن العشرين، بين خلية وحاسوبين نانويين ضخمين، مثل المبينين بالشكل (1D). جسمك المحاكى طوله الآن ٥٠ نانومترا، أى تقريبًا طولك يعادل ١/٤٠ مليون مرة حجمك الحقيقى، والحاسوبين النانويين الصغيرين طولهما يعادل حوالى ضعف طولك. وبهذا الحجم الفائق الضآلة يمكنك "رؤية" الذرات والجزيئات، كالمبين بالشكل (1E).

تستمر عملية المحاكاة فى قذفك بجزيئات الهواء، ولكن تضبيطات الجهاز القياسية تتركك للإحساس بأنك تُقذف ببليات زجاجية. منذ لحظة واحدة كنت ملتصقًا بقوة بالأرض بواسطة لزوجة الجزيئات، إلا أن التضبيطات القياسية تكسب عضلاتك قوة

ومتانة الفولاذ – على الأقل من حيث المحاكاة – يجعل كل شيء حولك أكثر نعومة وضعفًا. ويقول لك مرشدك السياحي أن سمات المحاكاة الوحيدة غير الحقيقية تتعلق بك أنت.. ليس فقط قدرتك على الرؤية وتجاهل الاهتزاز الحراري والقذف بالجزيئات، ولكن أيضًا وجودك الحقيقيّ بحجم فائق الصغر بالنسبة إلى أي شيء ضخم كالإنسان ذاته. كما يفسِّر أيضًا لماذا يمكنك رؤية الأشياء تتحرك، إذ يتم إبطاء كل شيء حولك بمعامل ١٠ لكل معامل تكبير قدره ١٠ وبمعامل أخر للسماح بتقوية ، ومن ثم إسراع، جسمك الموجود. وهكذا من خلال قوتك الهائلة وبعض التضبيطات الأخرى لجعل ساقيك وذراعيك وجذعك أقل لزوجة، يمكنك أن تتحمل وترى وتشعر وتقيِّم الموقف من حولك.

تركيب الجزيء

سوف تبدو لك الأرضية، مثل كل شيء من حولك، خشنة أو مُحَبَّبة وتكثر بها مطبات بحجم الذرات أو بحجم أنامل أصابعك.. كل الأشياء تبدو عناقيد عنب شفاف أو رخام منصهر بألوان كثيرة جميلة ولكنها وهمية. ويعرض لك جهاز المحاكاة أشكالاً للذرات والجزيئات، كتلك التي كان يستخدمها الكيميائيون في ثمانينيات القرن العشرين، غير أنها مُجَسَّمة (ثلاثية الأبعاد) وواضحة وتتوفر لك طريقة جيدة لتحريكها والإحساس بالقوى التي تبذلها عليك. والواقع أنَّ عملية المحاكاة كلها لا شيء سوى نسخة مُعَدَّلة من المنظومات التي أنشئت في أواخر ثمانينيات القرن العشرين، فالحاسوب مثلا أسرع ولكنه يقوم بنفس الحسابات ذاتها. ونظارات الفيديو أفضل وبذلة الطاقة التي تغطي الجسم بأكمله هي تغيُّر كبير، ولكن حتى في ثمانينيات القرن العشرين، كانت هناك عروض مجسَّمة للجزيئات والأدوات البدائية التي أعطت إحساسًا للمرء بأنه يلمسها.

قفازات هذه البذلة تُعطى لابسها الإحساس بلمس كل شىء يحاكيه الحاسوب. فعندما تمر بأنامل أصبعك على جانب الحاسوب الأصغر، تشعر بغرابته ويصعب عليك وصفه.. إنَّ سطحه يبدو لك كما لو كان مغناطيسًا، فهو يجذب أناملك إذا مرت قريبة جدًا منه. ولكن النتيجة ليست تلامسًا عنيفًا، لأن السطح ليس صلبًا كالمغناطيس بل للغرابة ليّنا. ولمس هذا السطح يشبه لمس طبقة رقيقة من الضباب الذى يتدرَّج بنعومة مكونًا رغوة مطاطية، ثم مطاطية صلبة، ثم فولاذية.. ويتم كل ذلك فى حدود سُمك لوحة من الكرتون المُعَرَّج. ولو تحركت أنامل أصبعك جانبيًا فإنها لا تشعر بأى بنية سطحية أو احتكاك، وإنما مجرَّد فجوات رقيقة أكثر زَلاقة من الزيت، فقط تميل أناملك إلى الانجذاب داخل الفجوات. ولكى تجذب أناملك وتحررها من السطح، عليك بسحبها بقوة. إنَّ عملية المحاكاة تجعل أناملك التى بحجم الذرات تشعر بنفس القوى التى تتأثر بها الذرة بالفعل. والغريب أن يكون السطح زلقًا لهذه الدرجة، بينما لا يمكن أن يكون زلّق أو زيت بالزيت، حيث إن جزىء الزيت الواحد عبارة عن كتلة بحجم إبهامك. وهذه الزلاقة توضِّح كيف تعمل محامل الارتكاز نانوية الحجم وكيف يمكن أن تنزلق بنعومة أجزاء الأجهزة الجزيئية.

ولكن الأهم من كل ذلك، هو الإحساس بوخز أو تنميل فى أصابعك، مثل الإحساس بلمس مُكبِّر صوت وهو يعمل. وعندما تضع أذنيك على جدار حاسوب نانوى، فإنك تجفل أو تتراجع للحظة، إذ تسمع صوتًا يشبه هسيس تلفاز من إنتاج القرن العشرين مَضبوط على تردد قناة لا تبث شيئًا سوى الشواش وبقع وماضة من الضوء والظلام، وإنما صوت عال مزعج ومؤلم. كل ذرات السطح تهتز بترددات عالية بسرعة أكبر من أن يمكن لأحد رؤيتها. هذا هو الاهتزاز الحرارى، ومن هنا، يتضح لماذا سُمىّ بالضوضاء الحرارية.

الجزيئات المنفردة تتحرك بسرعة فائقة بحيث لا يمكن رؤيتها، ولذلك فلإضافة خدعة أخرى إلى عمليات المحاكاة، عليك بإصدار أمر "أبطأ!" وعندئذ يبدو لك أن كل شيء من حولك يتباطأ بنسبة ١:١٠ .

على السطح، يمكنك الآن رؤية الاهتزازات الحرارية التي كان يتعذر عليك من قبل متابعتها. ومن كل اتجاه حولك تصبح جزيئات الهواء أسهل في ملاحظتها. إنها تئزُّ من حولك كسقوط حبات الأمطار في العاصفة، ولكنها في حجم الكريات الثلجية التي تصطدم وترتد من كل الاتجاهات. كما أنها لزجة بطريقة شبه مغناطيسية، وبعضها تتزلج في الجوار على جدار الحاسوب النانوي. وعندما تمسك بإحداها، تنزلق من بين يديك. وأكثرها تشبه كريتين منصهرتين، لكنك ترصد واحدة منها مستديرة تماماً.. إنها ذرة "أرجون"، وهذه الذرات نادرة إلى حد ما. ولو أمسكتها بقوة من جميع جوانبها لمنع تملصها منك كبذرة البطيخة، فإنك تقبض عليها ككماشة بين أصابعك القوية كالفولاذ. وهي تنضغط بحوالي نسبة ١٠٪ قبل أن تصل مقاومتها إلى رقم عال لا يمكنك التغلب عليها. وعندئذ تنطلق راجعة فورياً بأقصى قوة، عندما تسترخي ثم ما تلبث أن تنطلق متملصة من قبضتك. والذرات تتميز بكمال غير مألوف لنا، فهي مرنة ولا تتغير وتحيط بك في أسراب كثيفة.

وعند قاعدة الجدار توجد كتلة مستديرة لزجة وممخَّضة لا يمكن أن تكون سوى قطيرة ماء. ولو غرفت ملء راحة يدك منها لتراها عن قرب، فسوف تجد معك حشداً كبيراً من مئات الجزيئات، وهي تسقط وتطن وتتعثر في بعضها البعض، ولكنها تظل متجمعة في كتلة متماسكة واحدة. ولكن بينما تلاحظها، تجد واحدة منها تهرب من السائل وتطير في الاضطراب الأكثر تحرراً في الهواء المحيط: أي إن الماء يتبخر. وبعضها ينزلق على ذراعك ويستقر في إبطك، ولكنه أخيرا ينزلق إلى بعيد. والتخلص

من كل جزيئات الماء يحتاج إلى الكثير من مرات الكسح، ولذلك، عليك إصدار أمر "نظفني!" لكي يتم تجفيفك.

صغيرة جدًا وكبيرة جدًا

بجوارك تجد الحاسوب النانوى الأصغر عبارة عن كتلة يبلغ ارتفاعها ضعف طولك، ولكن من السهل عليك أن تتسلق فوقه، كما يدلك مرشدك السياحى، والجاذبية تكون أقل أهمية فى الأحجام الصغيرة، مثلا الذبابة تتحدى الجاذبية بالسير على الأسقف، والنملة يمكنها رفع ما يعتبر كشاحنة بالنسبة إلينا نحن البشر. وبالنسبة إلى حجم محاكاة يبلغ خمسين نانومترا، فإنَّ الجاذبية لا يكون لها تأثير ما. فالمواد تحتفظ بقوة تحملها وتبقى صلبة، بحيث لا يمكن ثنيها أو كسرها.

غير أن وزن أى جسم يصبح ضئيلاً جدًا. وحتى بدون زيادة المتانة وقوة التحمُّل التى تجعلك تتغلب على لزوجة الجزيئات، فبإمكانك رفع جسم ما يبلغ أربعين مليون مرة قدر وزنك.. كرجل فى الحجم الطبيعى يرفع صندوقًا يحتوى على ٦ ناقلات نفط محمَّلة بأقصى حمولة لها. ولمحاكاة تلك الجاذبية الضعيفة، تقوم بذلة الطاقة بحمل وزن جسمك بحيث تجعلك تشعر، كما لو كنت تطفو فى الهواء. ويشبه ذلك تقريبًا أخذ إجازة لقضائها فى حديقة خاصة مدارية، وتسير بحذائك اللزج طويل الرقبة على الجدران والأسقف وأى شىء آخر، ولكن بدون أن تحتاج إلى أى عقاقير مضادة للغثيان.

وفى أعلى الحاسوب النانوى، يوجد جزىء بروتينى شارد، يُشبه ذلك المبين بالشكل (1E). ويبدو ذلك الجزىء كعنقود من العنب وفى نفس حجمه تقريباً. وهو نفسه يشعر أنه عنقود عنب طرى وسائب. ولكن أجزاءه لا تطير كفاز أو تسقط وتتلوى

كسائل، وإنما ترتعد وترتجف مثل الجيلاتين وأحيانًا تتحرك كيفما اتفق أو تنعطف بحركة لولبية. وهى صلبة بما يكفى، ولكن تركيبها المطوى ليس بنفس قوة أصابعك الفولاذية. وفى تسعينيات القرن العشرين، بدأ الناس يصنعون أجهزة وآلات جزيئية من البروتينات مقلدين ما يحدث فى علم الأحياء. ونجح ذلك، ولكن من السهل رؤية كيف انتقلوا إلى استخدام مواد أفضل.

ونُخرج من جيبك المحاكىّ عدسة مكبِّرة محاكاة لكىّ تنظر من خلالها إلى البروتين المُحاكى. وتُظهر العدسة لك زوجًا من ذرات متماسكة على السطح عند تكبيرها عشر مرات على النحو المبين بالشكل (1F). وتجد الذرتين شفافتين تقريبًا، ولكن حتى عند النظر إليهما بدقة عن قرب لا تستطيع رؤية أى نواة بالداخل، حيث إنها أصغر من أن يمكنك رؤيتها. ويحتاج الأمر إلى تكبير يبلغ ١٠٠٠ مرة لكى يمكنك رؤيتها، حتى لو كنت متمتعًا من البداية بالقدرة على رؤية الذرات بعينك المجردة. كيف يمكن للناس أن يخلطوا بين الذرات الضخمة الممتلئة والبقع الضئيلة مثل الأنوية؟ ولو تذكرت كيف فشلت أصابعك ذات القوة الفولاذية فى ضغط ما يزيد على جزء بسيط من الطريق إلى نواة ذرة "الأرجون" فى الهواء، لاتضح لك لماذا يكون الاندماج النووى صعبًا. والحقيقة أن مرشدك السياحى قال لك أن الأمر يحتاج إلى مقذوف من عالمنا الحقيقى منطلق بسرعة هائلة تعادل ١٠٠ مرة قدر سرعة رصاصة البندقية عالية الطاقة للتغلغل فى قلب الذرتين والعمل على دمج النوايتين. ومهما حاولت بكل قوتك، فلن تتمكن من العثور على أى شيء فى عالم الجزيئات يمكنه أن يصل إلى قلب الذرة لكى يعبث بنواتها. أنت لا يمكنك لمس النواة ولا يمكنك رؤيتها، ولذلك توقف عن النظر شزرًا فى العدسة المكبرة. وعمومًا، فإنّ الأنوية ليست مهمة جدًا فى التكنولوجيا النانوية.

أنت تعمل بنصيحة مرشدك السياحى وتنتزع مقبضين بجزىء البروتين وتجذبهما. تشعر بمقاومة للحظة، ثم تخلع إحدى العروات مما يسمح لعروات أخرى بالتحرر هنا وهناك، ويبدو أن الجزىء كله ينصهر متحولاً إلى ملف متلو. وبعد بُرهة من الجذب والصراع، يُصبح كيان الجزىء واضحًا: فهو عبارة عن سلسلة طويلة - أطول من طولك أنت، لو فردته فى خط مستقيم - وكل جزء من هذه السلسلة به واحدة من مقابض عديدة بارزة من جانبها. وتبدو الذرات كحبيبات زجاجية متعددة الألوان، أما سلسلة البروتين فتشبه قلادة متموجة. وقد تكون القلادة مزخرفة، ولكن كيف يرتد كل ذلك مع بعضه البعض؟ إما أن السلسلة تتحرك وتدور وتتلوى وتتقلب وأنت تجذبها وتدفعها وتثنيها، ولكنها تكون قد فقدت إحكامها الأصلى ورصها الصلب المصمت. ويوجد المزيد من طرق ارتكاب خطأ فى فرد السلسلة أكثر من الموجود منها لحل (مُكعَّب روبك)[1]، وبمجرد اختفاء الكيان المطوى للجزىء، فإنَّ نتيجة ذلك تبدو غير واضحة. ولكن كيف حل باحثو القرن العشرين مشكلة (طىّ البروتين) الشهيرة؟ لقد حققوا إنجازا قياسيًا غير مسبوق بالبدء فى صنع أجسام بروتينية فى أواخر ثمانينيات القرن العشرين.

وهذا الجزىء البروتينى لا يعود كما كان، ولذلك أنت تحاول كسره. وعندما تمسكه بإحكام وتجذبه بقوة ينفرد جزء منه فى خط مستقيم، غير أن السلسلة تتماسك ببعضها البعض وتندفع مبتعدة عائدة إلى شكلها الأصلى. وعلى الرغم من أن فردها لم يكن صعبًا، فإنَّ العضلات ذات القوة الفولاذية - كقوة الرجل الخارق (سوبر مان) - لا يمكنها قطع أو كسر السلسلة ذاتها. إنَّ الروابط الكيميائية قوية بشكل فائق، ولهذا حان الوقت لخدعة أخرى. فعندما تقول أثناء جذبها "عالم ضعيف - لثانية واحدة!" فإنَّ يديك تتحركان بسهولة بعيدًا عن بعضهما البعض وتقطعان السلسلة إلى جزأين قبل أن تعود قوتها إلى طبيعتها. لقد تمكنت من إحداث تغير كيميائى بالقوة، ولكن لابد أن هناك طرقًا أسهل، لأن الكيميائيين يؤدون عملهم دائمًا بدون أى أيد خارقة القوة.

(١) مجسم تركيبة اللغز أُخترع عام ١٩٧٤. (المترجم)

وبينما تقارن بين الجزئين المكسورين، تجدهما يندفعان فجأة ويصطدمان ببعضهما البعض. وعندما يحدث ذلك للمرة الثالثة، تلتحم السلسلة وتعود إلى سابق قوتها. ويشبه ذلك كما لو أن لديك جزأين يلتحمان ببعضهما البعض بمرونة وطقطقة، غير أن تلك الأجزاء المطقطقة أكثر قوة من الفولاذ الملحوم ببعضه البعض. وكيمياء التجميع المعاصرة تستخدم عادة تلك الأساليب، غير إن رؤيتك ذلك يحدث أمامك يجعل فكرة تجميع الجزيئات أكثر قابلية للفهم. فما أن تضع الأجزاء الصحيحة مع بعضها البعض فى الأوضاع الصحيحة، إلا وتجدها تندفع لتلتحم ببعضها بعضاً بطقطقة مكونة تركيباً أكبر من السابق.

الآن تذكرت الأمر "توقف / أبطئ!" وتقرر العودة إلى السرعة النسبية الملائمة لحجمك وقوتك. وعندما تقول "تضبيطات قياسية!"، ترى سلسلة البروتين تتحرك بسرعة خارقة، بحيث تتحول إلى ضباب لا يمكنك متابعته.

الأجهزة النانوية

تحت قدميك، يوجد جسم أسطوانى مُضلَّع مُطَوَّق، تقريباً بحجم طبق حساء.. وهو ليس جديلة مشوشة مطوية بلا نظام مثل البروتين (قبل تحطمه)، وإنما هو جسم صلب من صنع التكنولوجيا النانوية الحديثة. إنه ترس يشبه ذاك المبين بالشكل (1E). وعندما تمسك بهذا الترس تشعر على الفور كيف أنه مختلف عن البروتين. وفى هذا الترس، كل شىء مثبَّت مكانه بروابط قوية مثل تلك التى تربط حبيبات سلسلة البروتين. وهو لا ينفرد، وعليك أن تلجأ إلى خدعة جديدة لفصم تماثله التام. ومثل تلك الموجودة فى جدار الحاسوب النانوى، فإن ذراته المرتبطة ببعضها البعض بقوة تهتز قليلا جداً. وهناك ترس آخر قريب، ويمكنك تعشيقهما ببعضهما البعض وجعل أسنان الترسين تتعشق فى بعضها البعض، وذلك بإدخال بروزات إحداهما فى تجويف الثانية. إنهما

تلتصقان ببعضهما البعض، وعندئذ تجعلهما الأسطح الذرية الدبقة لهما يدوران بسلاسة تحت قدميك يوجد الحاسوب النانوى نفسه، وهو آلية ضخمة مصنوعة بنفس الأسلوب الصارم. وعندما تنحدر هابطًا من فوقه، يمكنك أن ترى خلال طبقات جداره الشفافة الأجزاء الداخلية منه.

فى الداخل، يدور محرك كهربائى يبلغ عرضه قدر شبر، وهو يُدير عمود تدوير يُدير بدوره مجموعة من القضبان المهتزة، تدير بدورها قضبانا أصغر. إنه لا يبدو كحاسوب، إنه يبدو أقرب إلى خيال أحد المهندسين من القرن التاسع عشر. وعلاوة على ذلك، فهو تصميم قديم، وقال المرشد السياحى إن الاقتراح الأصلى كان قطعة من الهندسة الاستطلاعية التى ترجع إلى منتصف ثمانينيات القرن العشرين. إنه تصميم ميكانيكى ألغاه وحل محله تصميمات إلكترونية متطورة قبل أن يتوفر لإحدى أدوات ووسائل صنع نموذج أولى. وهذه المحاكاة مبنية على تصميم طرحه أحد الهواة بعد سنوات كثيرة.

والحاسوب النانوى الميكانيكى قد يكون بسيطًا لكنه يعمل، وهو أصغر بكثير وأكثر كفاءة من الحاسوب الإلكترونى المصنوع فى أوائل القرن العشرين. وهو أسرع أيضًا إلى حد ما. وقضبانه تنزلق جيئة وذهابا فى حركة خاطفة، بحيث يعترض كل منها طريق غيره ويفتح الطريق له بوسائل منطقية متغيِّرة. وهذا الحاسوب النانوى عبارة عن نموذج ممكن فكه وليس له ذاكرة تقريبًا وهو لا قيمة له فى حد ذاته. ولو نظرت خلفه لرأيت الجسم الآخر - المبيين يسار الشكل (1D) - الذى يتكون من جهاز قوى بما يكفى لمنافسة أكثر الحواسيب المصنوعة عام ١٩٩٠، ويبلغ طول جانب هذا الحاسوب جزءًا من مليون جزء من المتر، ولكنه يبدو من مكان وقوفك كمبنى ضخم يبلغ ارتفاعه عشرة طوابق. ويقول لك مرشدك السياحى إنه يتكون من أكثر من ١٠٠ بليون ذرة ويُخَزِّن من المعلومات قدر الموجود بحجرة ممتلئة بالكتب. وبمقدورك رؤية منظومة

التخزين بالداخل: وهى عبارة عن صف من الأرفف عليه بكرات أشرطة جزيئية تشبه إلى حد ما سلسلة البروتين، ولكن به تجاويف تمثل الواحدات والأصفار من بيانات الحاسوب.

تبدو تلك الحواسيب النانوية ضخمة وبسيطة، لكن الأرضية التى تقف عليها الآن هى حاسوب أيضًا، وهى شريحة واحدة مصنوعة عام ١٩٩٠، وهى تقريبًا فى نفس قوة الحاسوب النانوى الصغير القابل للفك بجوارك. وعندما تنظر فوق الشريحة، يتكون لديك إحساس جيد بمدى بساطة الأشياء التى صُنعت منذ بضعة عقود. وتحت قدميك تجد الشريحة عبارة عن كتلة غير منتظمة بأبعادها الضئيلة. وعلى الرغم من أن جدار الحاسوب النانوى خشن بسبب التجاويف ذرية الحجم، وتلك التجاويف منتظمة كقطع البلاط، فإن سطح الشريحة عبارة عن خليط مُشَوّش من الكتل والأكوام. وهذا النمط مستمر عبر عشرات الخطوات فى كل الاتجاهات، وينتهى بجُرف غير منتظم يُعلِّم حافة ترانزستور وحيد. ووراء ذلك، ترى سهولاً وجبالاً تمتد حتى الأفق. وتكوِّن هذه الأنماط الواسعة المنتظمة دوائر الحاسوب. والأفق، الذى هو حافة الشريحة، بعيد جدًا، بحيث يستغرق السير إليه من المنتصف (حسبما يحذرك مرشدك السياحى) أيامًا. وهذه المساحات الشاسعة من المناظر الطبيعية كانت تعتبر فى القرن العشرين مُعجزات فى التصغير الفائق.

الخلايا والأجسام

حتى فى ذلك العصر الماضى، كشف البحث فى مجال البيولوجيا الجزيئية، وجود أجهزة صغيرة أكثر كمالاً. مثل الجزيئات البروتينية فى الخلايا. ومحاكاة الخلية الإنسانية التى تم وضعها فى هذا السياق – لأن الزائرين الأوائل أرادوا أن يشاهدوا مقارنة الحجم – استقرت فوق رقاقة بجانب الحاسوب النانوى الأصغر حجمًا. وأوضح المرشد السياحى. بأن المحاكاة قد خدعتنا قليلاً عند هذه النقطة، إذ إنها جعلت الخلية

تعمل، كما لو أنها كانت فى بيئة مائيَّة، بدلاً من كونها تتصرف فى الهواء. والخلية تقزم الحاسوب النانوى، وهى تنتشر بغير نظام عبر سطح الرقاقة، وترتفع عاليًا فى السماء مثل جبل صغير. ولو اتخذنا المسار الطبيعى حول حافتها، سيقودنا هذا عبر العديد من مستويات الترانزستورات، وسوف يستغرق ذلك نحو الساعة. وتكفى نظرة واحدة، لنعرف مدى التباين ما بين الحاسوب النانوى وعتلة التعشيق(٢): إنها تبدو عضوية، منتفخة ومنحنية مثل كتلة خفيفة لا شكل لها من الكبد، بيد أن سطحها أشعسُ وخشنٌ، بفعل تلك الحلقات المترابطة والمرنة والمتماوجة للجزيئات.

ولو اتخذت المسار إلى حافتها، لأمكنك أن ترى أن الغشاء الذى يغلف الخلية، مائع مرن (تكون جدران الخلية للأشياء الجامدة مثل النباتات)، وتتميز جزيئات الغشاء بأنها فى حركة دائمة. وبحركة مفاجئة، تدفع بذراعك خلال الغشاء متحسسًا ما فى الداخل. يمكنك أن تشعر بالعديد من البروتينات تتصادم وتتأرجح فى كل أجزاء السائل الداخلى للخلية، وكذلك ألياف ودعامات شبكة متقاطعة من البروتينات. وفى مكان ما بالداخل، تربض الأجهزة الجزيئية، التى صنعت كل هذه البروتينات، بيد أن تلك الآليات البالغة الضآلة، مطمورة فى كتلة عضوية مضطربة، ليس لها شكل محدد. وعندما تنزع ذراعك خارجًا، ينغلق تدفق الغشاء إلى الوراء. إن السائل - التركيب الديناميكى للخلية - يتميز بقدرة هائلة على الإصلاح الذاتى. وهذا ما جعل العلماء يجرون جراحات تجريبية على الخلايا، بتلك المعدات القديمة غير المتطورة، التى سادت فى القرن العشرين. ولم تكن ثمة حاجة لرتق الثقوب، التى أحدثوها، عندما كانوا يتفحصون بدقة ما فى الداخل.

وفضلا عن ذلك، فإن الخلية الإنسانية المفردة، ضخمة ومعقدة. وفى الواقع، لا يمكن لأى كائن عاقل أن يكون فى ضآلة حجمك، كما فى هذه المحاكاة. إن أى حاسوب

---

(٢) ذراع التروس أو المسننات. (المترجم)

بسيط، دون أى ذاكرة، سوف يكون ضعف حجمك. والحاسوب النانوى الأكبر حجمًا، فى حجم شقة متعددة الحجرات، لن يكون أكثر ذكاء اصطناعيًا، من أحد حواسيب عام ١٩٩٠، البدائية للغاية. وحتى الإصبع القابل للانحناء، لن يكون فى ضآلة حجم أصابعك المحاكاة وفى المحاكاة ويكون عرض أصابعك ذرة واحدة فقط، ومن ثم، لن تترك مكانًا لوتر(٣) محتمل بالغ الضآلة، ناهيك عن الأعصاب.

ولكى تتطلع بنظرة أخيرة إلى هذا العالم العضوى، فإنك تمعن النظر فيما وراء الأفق، لتشاهد صورة مطابقة لك. إبهام بحجم كامل، يمسك بالرقاقة، التى تقف فوقها. ويرتفع النتوء البارز فى إبهامك، أكثر بعشر مرات من قمة "إيفرست". ويملأ السماء إلى أعلى، وجه يلوح فى الأفق، مثل الأرض وهى تنطلق فى مدارها، وهى تحدق إلى أسفل. إنه وجهك، بوجنتين فى حجم القارات. وتكون العينان جامدتين لا تتحركان. وعندما تسترجع بيانات المرشد السياحى، سوف تتذكر: أن المحاكاة تستخدم قواعد القياس الميكانيكى المعيارية، ولأنك أصبحت أصغر بأربعين مليون مرة، فهذا جعلك أسرع بأربعين مليون مرة أيضًا. وحتى يمكنك انتزاع نفسك من السطوح، فإنها تزيد من قوتك أكثر من معامل ١٠٠، ويؤدى هذا إلى زيادة سرعتك بأكثر من معامل ١٠، ومن ثم فإن ثانية واحدة فى العالم العادى، يعادل أكبر من أربعمائة مليون هنا فى هذه المحاكاة. وسوف يستغرق الأمر سنوات لرؤية هذا الوجه المروّع فى السماء، وهو يكمل مجرد طرفة عين واحدة.

هذا يكفى. وبإصدار أمر "دعنى أخرج من هنا"، سوف يختفى العالم الجزيئى، ويعود إليك إحساسك بالثقل، عندما ترتخى ملابسك التى ترتديها. عندئذ سوف تنتزع نظارات الفيديو، وببطء شديد، تطرف بعينيك.

---

(٣) يربط العضلة بالعظمة. (المترجم)

الفصل الثالث

التكنولوجيا الصاعدة من أسفل إلى أعلى

أظهرت الجولة التى ذكرناها فى الفصل السابق تلك الأحجام والقوى والطبيعة العامة للأجسام الداخلة فى إطار عالم الجزيئات. وعلى ضوء ذلك، يمكننا الحصول على صورة أفضل للمكان الذى يبدو أن التطورات تقودنا إليه.. أو بتعبير آخر صورة أفضل لعملية التصنيع الجزيئى ذاتها. ولبيان الأحجام والقوى والطبيعة العامة للأشياء فى عملية التصنيع الجزيئى، فإننا ندعو أولا القارئ (وأيضًا الجانب الخفى الفضولى من شخصية القارئ) للقيام بجولة ثانية ونهائية قبل العودة إلى عالم الأبحاث المعاصرة فى يومنا هذا. ونؤكِّد هنا، كما أكدنا من قبل، أن التاريخ السابق لعام ١٩٩٠ دقيق، وأنَّ العِلم حقيقى وليس خيالا علميًا.

مَعرَض وادى السليكون[١]

أظهرت الجولة السابقة فى عالم الجزيئات بعض منتجات التصنيع الجزيئى، لكنها لم تظهر لنا كيف يتم صنعها. والتكنولوجيات التى تتذكرها من الأيام القديمة تم استبدالها، لكن كيف حدث ذلك؟ معرض وادى السليكون أعلن أنه "حديقة عرض ذات طابع مميَّز أصلى ينبُض بالحياة والعمل واللعب فى السنوات المبكرة من الإنجازات العلمية الكُبرى". ولأن "العمل" يجب أن يتضمن التصنيع، فإنه يستحق زيارة له.

---

(١) المنطقة الجنوبية من خليج سان فرانسيسكو فى كاليفورنيا تتميز بوجود عدد كبير من مطورى ومنتجى الدوائر المتكاملة الحاسوبية . (المترجم)

يقول مرشدك السياحي بأدب: "توجد قبة ضخمة تغطي حديقة العرض" تغطي تمامًا كل الأضواء والأصوات والروائح الأصلية أو الحقيقية للعصر". وبالداخل، تجد أن الملابس وقصات الشعر وعناوين الصحف والمرور الكثيف.. كلها تماثل ما حدث بالضبط قبل إغفاءتك الطويلة. وهناك ضوء ضبابي يحجب المباني في الجانب البعيد من القبة، وعيناك تحرقاك قليلاً، والهواء تفوح منه رائحة حقيقية.

مكتبات الجيب

يَطرح مصنع "شركة الصانعين النانويين" العَرض الرئيسي للتكنولوجيا النانوية المبكرة. وعندما تقترب من المبنى، يذكر لك المرشد السياحي أن هذا هو في الحقيقة مصنع التصنيع الأصلي، الذي ترك بصمته منذ أكثر من عشرين عامًا، وأنه قد أصبح الآن قلب أو مركز معرض وادي السليكون منذ عشر سنوات، وذلك عندما... وعندئذ تنقر بضع نقرات تجعل مرشدك السياحي الجيبي يتحدث أقل بكثير عن ذي قبل!.

وبينما يدخل الناس في صفوف إلى مصنع الصانعين النانويين، توجد لحظة هدوء وصمت، تشعر فيها بإحساس بالسير إلى داخل "التاريخ". شركة التصنيع النانوي هي منزل الشريحة الفائقة، وهي أول منتج للتكنولوجيا النانوية تم تسويقه على نطاق واسع. والسعة الهائلة لذاكرة الشريحة الفائقة هي التي جعلت من الممكن صنع أول مكتبة جيب.

وهذا القسم من المصنع يضم الآن سلسلة من المعروضات، تشمل نسخًا شغالة للمنتجات الأولى. وعندما تلتقط مكتبة جيب، لا تجد فقط أنها بحجم محفظتك، وإنما أيضًا بنفس وزنها. ومع ذلك، فإنَّ لها ذاكرة هائلة تكفي لتسجيل كل كتاب موجود بمكتبة الكونجرس الأمريكية، ويصل هذا تقريبًا إلى مليون مرة قدر سعة ذاكرة حاسوب شخصي مصنوع عام ١٩٩٠. وهي تنفتح بدقة أو نقرة بسيطة، وعندئذ

تضيء شاشتها ذات اللوحتين، ويصبح عندئذ أمامك عـالم المعـرفة المكتـوبة.. هـذا شيء رائع!

يقول سائح آخر، وهو يضغط بأصبعه على مكتبة الجيب: "غير معقول!.. هل تصدِّق تلك الأشياء؟.. لا توجد تقريبًا أى تسجيلات بالفيديو أو تسجيلات مجسَّمة، وإنما مجرَّد كلمات وأصوات وصور مسطَّحة.. وما التكلفة؟.. لم أكن لأشتريها لأولادى بهذا السعر أبدًا!".

يقول لك مرشدك السياحى بهدوء: "ما الذى تتذكره عن تلفاز من الطراز الأول مصنوع عام ١٩٩٠؟.. هذا ليس أرخص تصنيعًا متوقعًا من تكنولوجيا نانوية ناضجة.. هممم!، وكيف نظموا حقوق التأليف والنشر وحقوق الملكية؟.. ثمة الكثير فى هذا المنتج أكثر من مجرد التكنولوجيا...".

التصنيع النانوى

الغرفة التالية تعرض المزيد من التكنولوجيا. فى حجرة العمل هذه التى تم فيها صنع الشريحة الفائقة، تنتشر التكنولوجيا النانوية الأولى بشاشات العرض. وكل المنظومة هادئة وعادية بشكل مدهش. وقديمًا فى ثمانينيات القرن العشرين وتسعينياته كانت مصانع الشرائح تتحكم جيدًا فى حجرات نظيفة، يرتدى فيها العمال والزائرون عباءات وأقنعة، وتشمل مواقع عمل خاصة، ويتدفق الهواء خلالها بمهارة لإبعاد الأتربة عن المنتجات. أما هذه الغرفة، فليس بها شيء من ذلك، بل إنها قذرة قليلاً.

وفى منتصف طاولة مربَّعة كبيرة توجد ستة خزانات فولاذية، تقريبًا بحجم أوعية اللبن القديمة وشكلها. وكل وعاء أو خزان له بطاقة مختلفة تحدد محتوياتها: وحدات الذاكرة، وحدات نقل البيانات، وحدات اتصال بينى. وهذه هى الأجزاء المطلوبة لصنع الشريحة. وتبرز أنابيب بلاستيك صافية تحمل سوائل صافية وأخرى بلون الشاى، من

فوهات أوعية اللبن وتنثنى عبر الطاولة. وتنتهى الأنابيب بصناديق بحجم قبضة اليد مُرَكَّبة فوق أطباق مُسَطَّحة تُرَّص فى حلقة حول الأوعية. وبينما تتقاطر السوائل المختلفة فى كل طبق، تقوم مِخفقة مثل خلاط المطبخ بتقليب كل سائل. وفى كل طبق، تقوم الأجهزة النانوية بصنع الشرائح الفائقة.

تَرى مهندس تصنيع نانوى، وهو مرتدٍ ملابسَ معقمة وعليها بطاقة باسمه، يقوم بتجهيز طبق للبدء فى صنع شريحة جديدة. ويقول لك وهو يمسك بمنتج خام بواسطة ملقاطين صغيرين: "هذه شريحة سليكونية مثل تلك التى صنعتها التكنولوجيا ما قبل الإنجازات العلمية الكبرى. والشركات هنا فى هذا الوادى صنعت شرائحَ كهذه بصهر السليكون وتجميده إلى كتل، ونشر تلك الكتل إلى شرائح، ثم صقل هذه الشرائح، وبعد ذلك تعريضها لسلسلة طويلة من المعالجات الكيميائية والضوئية. وعند الانتهاء من صنعها، كانت تتسم بشكل معين من الخطوط والبقع لمواد مختلفة على سطحها. وحتى أصغر تلك البقع أو اللطخ كانت تحتوى على بلايين الذرات، وكان الأمر يحتاج إلى لطخ كثيرة منها معًا لتخزين بت واحد من المعلومات. وشريحة بهذا الحجم، أى حجم ظِفركَ، يمكنها تخزين جزء فقط من بليون بت. أما هنا فى التصنيع النانوى، فقد استخدمنا شرائح سليكونية مجردة كأساس لصنع ذاكرة نانوية. وتُبيِّن الصورة المعلقة على الجدار هنا سطح شريحة مجردة لا يوجد بها أى ترانزستورات أو دوائر ذاكرة، وإنما فقط أسلاك لتوصيلها بالذاكرة النانوية المثبَّتة بأعلاها. والذاكرة النانوية، حتى فى أيامها الأولى، كانت تخزِّن آلاف البلايين من البتات. وقد صنعناها بالفعل هكذا، ولكن كل ألف على حدة". ويضع الشريحة فى الطبق ويضغط زرًا وعندئذ يبدأ الطبق فى الامتلاء بسائل ما.

ويُضيف: "بعد بضع سنوات، سوف نتخلص من الشرائح السليكونية كلية".. ورفع علامة تقول (بدأ صنع هذه الشريحة فى الساعة ٢.١٥ مساء والوقت المقدَّر للانتهاء: ١.٠٠ صباحًا)..." وقد عجّلنا معدَّل الصنع بمعدل ١٠٠٠ مرة".

كل الشرائح فى الأطباق تبدو متشابهة تمامًا فيما عدا لونها. والشريحة الجديدة تبدو كمعدن باهت اللون. والفرق الوحيد الذى يمكنك ملاحظته فى الشرائح القديمة طوال عملية صنعها هو بُقعة مستطيلة ملساء تُغطيها طبقة رقيقة من مادة معتمة.

ويُبين مخطط متحرك لسير العمليات التصنيعية، مثبّت على الجدار، كيف يتم أخذ غشاء رقيق من وحدات البناء النانومترية واحدًا وراء آخر من المحلول، ثم فرشه على سطح الشريحة لعمل تلك الطبقة الرقيقة. ويشرح لك المرشد السياحى أن الطاقة اللازمة لتلك العملية – مثل طاقة العمليات الجزيئية داخل الخلايا – تأتى من كيماويات مذابة.. من الأكسوجين وجزيئات الوقود. والمقدار الكلى للطاقة اللازمة هنا ضئيل، لأن كمية المنتج نفسه ضئيلة، إذ إنه عند نهاية عملية التصنيع تبلغ السماكة الكلية لمادة الذاكرة النانوية، وهى الذاكرة التى تخزّن مكتبة جيب، عُشر سماكة صحيفة الورق، وهى مفرودة على مساحة أصغر من طابع البريد.

تجميع الجزيئات

بيّن المخطط المتحرك لسير العمليات التصنيعية وحدات تصنيع الذاكرة النانوية كأشياء ضخمة تتضمن حوالى ١٠٠ ألف ذرة للوحدة الواحدة (يحتاج الأمر إلى لحظة لتذكر أنها ما زالت دون مجهرية). وعملية الصنع فى الأطباق كانت ترص تلك الوحدات لعمل طبقة الذاكرة على الشريحة الفائقة. لكن كيف تم صنع تلك الوحدات ذاتها؟. إنّ الجزء الصعب فى عملية التصنيع الجزيئى هذه هو فى صُلب العملية كلها، أىّ فى المرحلة التى يتم فيها تجميع الجزيئات مع بعضها البعض لتكوين أجزاء أكبر وأكثر تعقيدًا.

ومعرض وادى السليكون يمثل عملية محاكاة لعملية تجميع الجزيئات هذه، بدون أى تكلفة إضافية. وتتعرف من مرشدك السياحى أن عمليات التجميع المعاصرة مُركبة،

فالعمليات السابقة – مثل تلك التى استخدمتها شركة الصانعين النانويين – استخدمت ابتكارات هندسية بارعة، ولكنها غامضة، وأن أبسط وأول الأفكار والمفاهيم لم يتم تنفيذها قط. ولكن لماذا لا تبدأ من البداية؟.. فالسير لمسافة قصيرة سوف يقودك إلى متحف الأفكار القديمة، وهو أول جناح لمتحف تصنيع الجزيئات.

النظرة الخاطفة داخل القاعة الأولى، تبين أناسًا كثيرين يتجولون هنا وهناك ويرتدون بزات عمل فضفاضة مثبَّت بها نظارة وقفازين ويحدقون فى لا شىء ويتواصلون مع أجسام خفية بالإشارات والحركات بدون كلام. حسن جداً، لماذا لا تنضم إلى هذا العرض الأحمق؟.. غير أنَّ دخولك من الباب وارتداءك هو أمر مختلف تمامًا.. فالنظارة تظهر لك عالمًا عاديًا خارج الباب وعالمًا جزيئيًا داخله. الآن أنت أيضًا يمكنك أن ترى وتشعر بالعرض الذى يملأ جنبات القاعة.

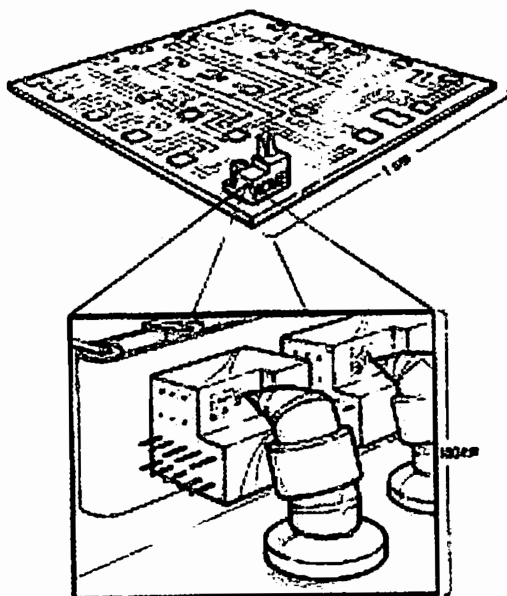
إنه يشبه إلى حد كبير العالم الجزيئى المحاكى من قبل، فهو يشترك معه فى المعايرات القياسية للحجم وقوة التحمل والسرعة. ومرة أخرى تبدو الذرات أكبر ٤٠ مليون مرة، أى تقريبًا فى حجم أنامل أصابعك. وهذه المحاكاة أقل قليلا فى كمالها من الأخيرة، فأنت يمكنك أن تحس بالأجسام المحاكاة، ولكن فقط عندما تكون لابسًا القفازين فى يديك. ومرة أخرى، يبدو كل شىء مصنوعًا من كتل مهتزة من كريات منصهرة، كل منها عبارة عن ذرة واحدة.

يقول لك مرشدك السياحى: "مرحبًا إلى فكرة عام ١٩٩٠ عن مصنع التصنيع الجزيئى. هذه التصميمات الهندسية الأولية لم يكن القصد منها هو استخدامها فعليًا، ومع ذلك فهى تبيّن أساسيات التصنيع الجزيئى، ألا وهو صنع الأجزاء واختبارها وتجميعها.

الأجهزة والآلات تملأ القاعة، والمنظر العام يذكر المرء بمصنع آلى من ثمانينيات القرن العشرين أو تسعينياته . إنها تبدو نظيفة للغاية. ترى ما الذى يحدث فيها؟..

أجهزة ضخمة تقف هناك بجوار سير ناقل مُحَمَّل بوحدات نصف مكتملة مصنوعة من مادة ما (تبدو تلك المنظومة كالمبينة بالشكل ٢ إلى حد كبير).. وهذه الأجهزة لابد أنها تقوم بعمل ما على تلك الوحدات. وبدءا من السير الناقل، تتحرك الوحدات أخيراً من ذراع إلى التالى له حتى تدور فى أحد الأركان لتدخل فى القاعة التالية.

ونظراً لأنه لا شيء حقيقى، فالمعرض لا يمكن أن يتلف، ولذلك، فعليك أن تسير حتى أحد الأجهزة وتتخسها بأصبعك. إنها تبدو لك كجدار للحاسب النانوى الذى صادفته فى جولتك السابقة. وفجأة تلاحظ شيئًا غريبًا.. لا توجد جزيئات هواء متصادمة ولا قطيرات ماء.. فى الواقع، لا توجد جزيئات طليقة فى أى مكان. كل ذرة تبدو جزءًا من نظام ميكانيكى، وتهتز بالذبذبات الحرارية، ولكن بخلاف ذلك، تتم السيطرة عليها تماماً. كل شيء هنا يشبه الحاسوب النانوى أو يشبه الترس الصغير المتين.. لا شيء منها يشبه البروتين الملتف السائب أو الكتلة الثائرة من الخلية الحية.



الشكل (٢): الشريحة وعليها وحدة التجميع والمصنع

مصنع كبير بما يكفى لصنع أكثر من ١٠ ملايين حاسوب نانوى يوميًا يُرَكَّب على حافة إحدى الدوائر المتكاملة الحالية. والشكل المُكبَّر يبيِّن ذراع تجميع جنبًا إلى جنب مع قطعة شُغل تتحرك على سير ناقل.

يبدو لك السير الناقل ساكنًا لا يتحرَّك. وعلى فواصل منتظمة بامتداد السير توجد كتل من مادة يجرى تشكيلها، هى قطع شُغل. أقرب كتلة إليك يبلغ عرضها حوالى ١٠٠ كرية بارزة، ولذلك، لابد أن تحتوى على نحو 100 x 100 x 100 ذرة، أى مليون ذرة كاملة. وهذه الكتلة تبدو مألوفة بشكل غريب، وبها قضبانها وعمود إدارتها والأجزاء الباقية. وهى عبارة عن حاسوب نانوى، أو بالأحرى جزء من حاسوب نانوى ما زال يجرى صنعه.

ويقف بامتداد أجزاء الحاسوب النانوى على السير الناقل صف من آليات ضخمة، ترتفع جذوعها من الأرضية بسماكة أشجار البلوط القديمة. ورغم أنها تنحنى إلى الأمام والأسفل، فإنها تتجه إلى الخلف من أعلى. ويقول مرشدك السياحى: "كل جهاز منها هو ذراع لآلة تجميع جزيئية عامة الأغراض".

أحد أذرع التجميع منحنية إلى الأمام وطرفها مضغوط على قطعة شغل تتحرك على السير الناقل. وعندما تقترب منها ترى آلة التجميع الجزيئية وهى تعمل. الذراع تنتهى بمقبض بحجم قبضة اليد وبه كريات صغيرة قليلة بارزة تشبه مفصلات الأصابع. وفى الوقت الحالى تنضغط كريتان - أو قل ذرتان - مرتعشتان فى تجويف ضئيل فى قطعة الشغل. وبينما أنت تلاحظ ذلك، تتحرك الكريتان وتقفزان وتثبتان فى مكانهما بقطعة الشغل بتكتكة، وبحركة خاطفة هى فى الحقيقة تفاعل كيميائى. وذراع التجميع تقف فقط هناك فى وضع ثبات تقريبًا. وقبضتها فقدت مفصلين، بينما ازداد حجم كتلة الحاسوب النانوى بقدر ذرتين.

يتابع مرشدك السياحي حديثه: "فكرة وسيلة التجميع عامة الأغراض هذه تشبه أساسًا روبوتات المصانع في ثمانينيات القرن العشرين. إنها ذراع آلية يتحكم في حركتها حاسوب، ويحرك أدوات جزيئية بموجب سلسلة من التعليمات المحددة. وكل أداة منها تشبه دباسة تُعَمِّر بدبوس واحد كل مرة أو مسدس برشام يُعَمِّر بمسمار برشام واحد كل مرة. ولها مقبض تمسك به ذراع التجميع لتحميله بقدر ضئيل من المادة - بضع ذرات - تثبته في قطعة الشغل بتفاعل كيميائي". ويشبه ذلك ضم البروتين من جديد في الرحلة السابقة.

الدقة الجزيئية

بدا أن الذرات تقفز لتثبت في مكانها بسهولة شديدة، فهل يمكن لها أن تقفز خارجة من مكانها بنفس تلك السهولة؟.. حتى هذه اللحظة تراجع ذراع التجميع إلى الوراء من السطح تاركًا ثغرة ضئيلة بحيث يمكنك أن تصل إليها وتنخس الذرات المُضافة لتوها. غير أن النخس والفحص والتطفل ليست لها أي فائدة، فعندما تدفع بكل قوتك (بأصابعك المحاكاة التي لها قوة الفولاذ)، فإن الذرات لا تتزحزح من مكانها بأي قدر ملحوظ، ذلك أن الروابط الجزيئية القوية تحفظها في مكانها.

وهنا، يُبدي لك مرشدك السياحي الجيبي، الذي يعمل بقدرة تبلغ قدرة ألف حاسوب فائق إنتاج تسعينيات القرن العشرين في مهمة تحديد متى يتحدث إليك بملاحظات، بقوله: "الروابط الجزيئية تمسك بالجسيمات الدقيقة في مكانها. وفي المواد المستقرة القوية، تكون ذراتها إما مربوطة بروابط أو غير مربوطة، وليست هناك أي حالات وسط بين هذين الوضعين. وتعمل وسائل التجميع على بناء الروابط أو تكسيرها بحيث يؤدي ذلك إما إلى النجاح التام لأي خطوة وإما الفشل التام لها. وفي عمليات التصنيع قبل الإنجازات العلمية الكبرى، كانت الأجزاء المختلفة تُصنع وتُركَّب مع

بعضها البعض بأخطاء وجوانب قصور بسيطة.. ويُسفر ذلك عادة عن زيادة سوء جودة المنتج. ولكن فى النطاق الجزيئى تختفى تلك المشاكل، حيث إن كل خطوة تكون دقيقة تمامًا، ولا يمكن تراكم الأخطاء فيها.. فالعملية إما أن تنجح وإما أن تفشل.

وماذا بشأن حالات الفشل التام المحددة هذه؟.. أنت بدافع الفضول العلمى تتجه إلى ذراع التجميع الثانى وتمسك بطرفه وتهزه. لا يحدث شىء بالمرة. ولكن عندما تدفع الطرف بكل قوتك، فإنه يتحرك لمسافة تبلغ عُشر قطر الذرة، ثم يرتد بقوة. ويُعلِّق مرشدك السياحى على ذلك قائلا لك: "الاهتزازات الحرارية يمكن أن تسبب أخطاء من خلال تقريب الأجزاء إلى بعضها بعضًا وخلق روابط بينها فى المكان غير الصحيح. فالاهتزازات الحرارية تحنى الأجسام المرنة أكثر من الأجسام الصلبة أو الجاسئة، ولذلك صُمِمَت أذرع التجميع هذه بحيث تكون سميكة وقصيرة لكىّ تكون صلبة. وهكذا يمكن خفض معدلات الخطأ إلى واحد فى التريليون (أى واحد كل مليون مليون حالة)، وبهذه الكيفية تصبح كل المنتجات الصغيرة منتظمة للغاية ومتماثلة تمامًا. أما المنتجات الكبيرة فيمكن أن تكون مثالية تقريبًا، بمعنى أن يكون بها بضع ذرات فقط فى غير مكانها الصحيح". ولابد أن يعنى ذلك وثوقية عالية فى المنتجات. والغريب أن أكثر الأشياء التى تراها الآن فى الخارج تبدو لك عادية تمامًا، فهى ليست زلقة أو مصقولة أو لامعة أو مثالية، وإنما خشنة وبسيطة. إذن، لابد أنها صُنِعَت بهذه الطريقة أو تم صنعها يدويًا. وعمومًا الأشياء الزلقة أو المصقولة أو اللامعة يجب ألا تُبهر أحدًا بعد الآن.

الروبوتات الجزيئية

حتى الآن تحرك ذراع التجميع لمسافة تعادل عرض بضع ذرات. ومن خلال الجانب نصف الشفاف للذراع، يمكنك رؤية أنه مكتظ بآليات مختلفة: أعمدة دوران

تدور، تروس، حلقات كبيرة تدور ببطء، وتؤدى إلى دوران امتدادات الوصلات على طول جذع الذراع. والمنظومة كلها عبارة عن ذراع روبوتى مفصلى ضخم. والذراع ضخمة لأن أجزاء ها الصغيرة بحجم الكريات، والآلات الموجودة داخله والتى تجعله يتحرك وينحنى، تتكون من أجزاء كثيرة جداً. وبداخله تعمل آلية أخرى، فالذراع تنتهى بفتحة ويمكنك رؤية الأداة الجزيئية القديمة المستهلكة، وهى تنسحب من أنبوب متجه إلى أسفل من المنتصف.

صبراً صبراً.. فخلال بضع دقائق تتجه أداة جديدة فى طريقها إلى أعلى الأنبوب. وأخيراً يصل إلى نهايته. أعمدة الدوران تلف والتروس تدور والقامطات (المشابك) تثبِّت الأداة فى مكانها. وأعمدة الدوران الأخرى تلف وتميل الذراع ببطء إلى أعلى وترتكز مرة أخرى على قطعة الشغل فى موقع جديد. وأخيراً تقفز المزيد من الذرات بحركة مرتعشة عبر الثغرة بين الذراع وقطعة الشغل وبعدها تصبح قطعة الشغل أكبر قليلا جداً عن ذى قبل. وتبدأ الدورة من جديد. وهذه الذراع الضخمة تبدو بطيئة للغاية، غير أن معايرات المحاكاة القياسية غيَّرت السرعات بنسبة تزيد على ٤٠٠ مليون مرة. وبضع دقائق من وقت المحاكاة يعادل أقل من جزء واحد من مليون جزء من الثانية من الوقت الحقيقى، وعلى ذلك، فإنَّ هذه الذراع الصلبة البطيئة تكمل حوالى مليون عملية تشغيل فى الثانية الواحدة.

ولو حدَّقت فى قاعدة ذراع التجميع، يمكنك ملاحظة المزيد من آليات ذراع التجميع تحت الأرضية، مثلا محركات كهربائية تدور، حاسوب نانوى يطن وقضبان تضغ سائلا بعنف. وكل تلك القضبان والتروس تتحرك بسرعة وتنزلق وتبتعد مرات مثيرة فى كل دورة عمل للذراع البطيئة المُضجرة لكن ذلك يبدو غير فعال، إذ إن الاهتزاز الميكانيكى لابد أن يُولِّد الكثير من الحرارة، ومن ثم، تستهلك المحركات الكهربائية الكثير من الكهرباء.

وفى وجود تحكم بالحاسوب، فإن كل ذراع ازدادت خُرقًا الآن عما كانت عليه فى سنوات ما قبل الإنجازات العلمية الكبرى. كانت الذراع الروبوتية ضخمةً مرتفع الثمن وكان الحاسوب وقتئذ مجرد شريحة رخيصة، أما الآن فالحاسوب أكبر من الذراع. لابد أن هناك طريقة أفضل، ولكن عندئذ كان هو متحف الأفكار القديمة.

وضع القوالب فى مبانٍ

أين تذهب قطع الشغل بعد أن تنتهى أذرع التجميع من عملها؟.. لو تتبعت السير الناقل مرورًا بست أذرع تجميع، وسرت حتى نهاية القاعة واستدرت فى ركنها لوجدت نفسك فى شرفة تطل على قاعة أكبر وراءها. وهذا بعد السير الناقل مباشرة، تجثم كتلة ما فى تركيبة معقَّدة، وأجزاؤها تتحرك ويطل عليها من أعلى ذراع هائلة تشبه رافعة الإنشاءات. وبعد لحظة، يتحدث مرشدك السياحى، ويؤكد شكك بقوله: "بعد التصنيع، يتم اختيار كل كتلة، وتلتقط أذرع ضخمة الكتل المصنوعة بدقة حسب المواصفات. وفى هذه القاعة تقوم الأذرع الضخمة بتجميع آلاف الكتل تقريبًا من مختلف الأنواع لصنع حاسوب نانوى كامل".

القاعة الكبيرة بها سير ناقل خاص بها يحمل سلسلة من الحواسيب النانوية المكتملة جزئيا. وعلى امتداد هذا السير الضخم يوجد صف من أذرع ضخمة يمكنها التأرجح جيئة وذهابا، للوصول إلى السيور الناقلة السفلى والتقاط كتل بها ملايين الذرات من محطات الاختبار ثم إدخالها فى قطع الشغل الضخمة.. أى الحواسيب النانوية الجارى تصنيعها. ويمتد السير بطول القاعة، وفى نهايته، تلتف الحواسيب النانوية المصنعة فى ركن القاعة متجهة إلى قاعة أكبر بعدها.

بعد التحديق فى قاعة التجميع النهائى لعدة دقائق، تلاحظ أنه لا شىء يبدو أنه يتحرك. والصبر وحده لا يؤتى ثماره، إذ بمعدل سرعة الأذرع الصغيرة فى القاعة التى

خلفك، تستغرق كل كتلة شهوراً لكى تكتمل، وتستفيد تماماً الأذرع الضخمة التى تعالج الكتل من وقت الفراغ الذى يتيحه ذلك الأمر. وصنع الحاسوب من البداية إلى النهاية يحتاج إلى وقت طويل للغاية.. ربما يصل فى طوله إلى فترة طرفة عين!

أدوات التجميع الجزيئية تصنع كتلا تذهب إلى أدوات تجميع وحدات البناء. وأدوات تجميع وحدات البناء تصنع الحواسيب التى تذهب إلى أدوات تجميع المنظمات، التى تصنع الأنظمة، التى تبدو على الأقل مساراً بينياً من الجزيئات إلى المنتجات الكبيرة، شديدة الصفاء. مثلا، إذا تم تجميع سيارة بالروبوتات عادية الحجم من ألف قطعة مختلفة، كل قطعة منها تم تجميعها بروبوتات أصغر من ألف قطعة أصغر من السابقة، وهلم جرا إلى أصغر فأصغر.. إذن، سوف تفصل فقط عشر عمليات بمختلف مستويات التجميع السيارات عن الجزيئات. وربما بعد الالتفاف فى بضعة منعطفات أخرى والسير فى بضع قاعات كل منها أكبر من سابقتها، سوف ترى سيارة تم صنعها بعد الإنجازات العلمية الكبرى ومزودة بأجزاء للمحرك غير معروفة لنا، ومقاعد مريحة تلتحم بمرونة ببعضها البعض فى عملية تستغرق قرناً كاملاً، فى قاعة واسعة جداً لدرجة أن المحيط الهادى سوف يعتبر بركة صغيرة بالنسبة إليها!.

فقط عشر خطوات متفاوتة الحجم منها ثمانى تبدأ بكتل كبيرة فى نفس حجم الكتلة التى صُنعَت فى القاعة التى توجد خلفك. إنَّ العالم الجزيئى يبدو أكثر تقارباً لو نظرت إليه من هذا المنظور.

المعالجة الجزيئية

لو عدت أدراجك إلى تلك القاعة، لتعجبت كيف بدأت عملية المعالجة. فى كل دورة من هذه الحركة البطيئة، تحصل كل أداة تجميع جزيئى على أداة جديدة، من خلال

أنبوب موجود فى مكان ما تحت الأرضية، وهذا هو المكان الذى تبدأ فيه قصة الدقة الجزيئية. ولهذا تقول: "من أين تأتى تلك الأدوات". ويجيبك مرشدك السياحى: "يمكنك أن تستقل المصعد الموجود على يسارك لتعرف الإجابة".

عندما تخطو خارجًا من المصعد وتدخل فى البدروم، ترى قاعة واسعة ممتلئة بسيور ناقلة وبكرات، ويمتد أنبوب ضخم فى وسطها. وتقول لوحة معلقة على الجدار: "مفهوم المعالجة الميكانيكية الكيميائية، حوالى عام ١٩٩٠". وكالعادة تبدو لك كل الحركات بطيئة إلى حد ما، ولكن فى هذه القاعة يبدو كل شىء مصممًا لكى يتحرك بشكل واضح. ويبدو مسار الانسياب العام للحركة مبتعدًا عن الأنبوب، خلال خطوات كثيرة ثم يرتفع إلى أعلى من خلال السقف باتجاه قاعة أدوات التجميع العليا.

وبعد سيرك إلى الأنبوب، ترى أنه شفاف تقريبًا. وداخله توجد فوضى عارمة لجزيئات صغيرة، فجدار الأنبوب يفصل بين الجزيئات الطليقة وتلك المسيطر عليها، بيد أن هذه الجزيئات الطليقة محصورة جيداً. وفى هذه المحاكاة، تبدو أطراف أصابعك كجزيئات صغيرة. فمهما ضغطت بقوة، فلن يمكنك إدخال أصابعك أبدا فى جدار الأنبوب. وبعد كل بضع خطوات، تبرز وصلة خارج الأنبوب، عبارة عن غلاف توجد داخله أداة تدور آليًا وغاطسة فى السائل الموجود داخل الأنبوب، وفى نفس الوقت، مُعَرَّضة لسير يمر فوق إحدى البكرات ومُبَيَّت داخل الغلاف. والحقيقة أنه من الصعب جداً رؤية ما يحدث داخل الأنبوب.

يتحدث إليك مرشدك السياحى: "الجيوب الموجودة على العضو الدوّار تلتقط جزيئات منفردة من السائل الموجود داخل الأنبوب. وكل جيب للعضو الدوار له شكل وحجم يناسب بالضبط واحداً من الأنواع الكثيرة المختلفة من الجزيئات التى فى السائل، ولذلك، فإن عملية المعالجة تكون انتقالية. والجزيئات التى يتم التقاطها تُدفع إلى داخل جيوب السير الملفوف حول البكرة هناك، ثم —".

تقاطعه قائلا: "كفى". حسن، إن عملية المعالجة تختار الجزيئات وتلصقها فى الشبكة المتداخلة من الأجهزة. والمفترض أن الأجهزة يمكنها تصنيف الجزيئات للتأكد من أن الأنواع الصحيحة منها تذهب إلى الأماكن المخصصة لها.

السيور تلتف لتدور جيئة وذهابًا حاملة معها كتلا ضخمة معقدة من الجزيئات. وكثير من الكرات والدلافين تضغط سيرين على بعضهما البعض داخل الغلاف، وذلك بمجموعة إضافية من الأسطوانات الدوّارة . وبينما تنظر إلى واحد منها، يقول لك مرشدك السياحى : "كل مقبض على السير هو أداة تصنيع ميكانيكية كيميائية. فعند انضغاط مقبضين على سيرين مختلفين على بعضهما البعض بطريقة صحيحة، فإنهما مصممان لنقل فتات الجزيئات من أحد السيرين إلى الآخر، بواسطة تفاعل كيميائى مُسَيّر ميكانيكيًا وبهذه الطريقة، تتفتت الجزيئات الصغيرة ثم تلتحم مرة أخرى وفى النهاية تلتصق بأدوات جزيئية من النوع المستخدم فى أدوات التجميع بالقاعة العليا. وفى هذه الأداة هنا، تخلق ضغطا هائلا يساوى الضغط الموجود فى منتصف المسافة إلى مركز الأرض، مما يُسرّع تفاعلاً يؤدى ——".

تقول مقاطعًا: "رائع، رائع". كان الكيميائيون القدماء يخلقون جزيئات معقدة بشكل يثير الإعجاب فقط بمزج كيماويات معًا فى محلول بالترتيب الصحيح وفى الظروف الصحيحة. وهنا يمكن بالتأكيد جمع الجزيئات مع بعضها بالترتيب الصحيح، كما أن الظروف المحيطة يتم التحكم فيها بشكل أفضل. والمعقول أن هذه المتاهة المصممة ببراعة من البكرات والسيور يمكنها أن تقوم بعمل أفضل تمامًا فى معالجة الجزيئات من ذلك الذى يتم فى أنبوب الاختبار الممتلئ بسائل مشوش أو غير منتظم. ومن سائل ما خلال فرّاز إلى داخل طاحونة ثم تمزج كأدوات: يبدو أن هذه هى قصة معالجة الجزيئات. وكل السيور عبارة عن أنشوطات بحيث تتحرك المعدات الآلية وتدور ثم تعود وهكذا، وفى نفس الوقت تحمل وتغيّر أجزاء الجزيئات.

يبدو أن منظومة السيور تلك بسيطة وفعالة للغاية، مقارنة بالأذرع البطيئة المضجرة التى تديرها حواسيب فى القاعة العليا. لكن لماذا نتوقف عند صنع أدوات بسيطة؟. لابد أنك نطقت بتلك العبارة، لأن مرشدك السياحى تحدث إليك من جديد وقال لك: "معرض أدوات التجميع الخاصة يُظهر فكرة تصنيع جزيئية بدائية أخرى تستخدم مبدأ منظومة المعالجة الجزيئية هذه لصنع جسيمات أكبر وأكثر تعقيدًا. فإذا صنعت منظومة ما منتجًا واحدًا فقط، فليست هناك حاجة لوجود حواسيب وأذرع مرنة لتحريك الأجزاء هنا وهناك. إذ الأكثر كفاءة هو صنع جهاز يتحرك فيه كل شىء على سيور بسرعة ثابتة، مع إضافة أجزاء للأشياء الأكبر، وبعد ذلك، جمع الأجزاء الأكبر مع بعضها البعض، مثلما رأيت فى آخر القاعة العليا".

يبدو هذا طريقة أكثر كفاءة لمواصلة إنتاج الكثير من المنتجات المتطابقة بشكل مضجر، لكن يبدو الأمر أكثر من مجرد ذلك. فالتروس تشبه البليات الصغيرة المنصهرة، والسيور تشبه الزخارف الرديئة، وأعمدة الدوران، والبكرات والأجهزة والمزيد من المعدات. إنها تتدحرج وتتدحرج ثم تطن وتطن ثم تفرقع وتتكتك ثم تفرقع من جديد وهكذا.

وبينما أنت تغادر قاعة المحاكاة، تسأل: "هل هناك أى شىء مهم فاتنى فى رحلة تصنيع الجزيئات هذه؟".

يقرأ لك مرشدك السياحى قائمة: "نعم – الآليات الداخلية لذراع التجميع، وتشمل أعمدة الدوران والتروس الدودية ووسائل الإدارة التوافقية واستخدام تفاعلات (ديلز[٢] – آدلر)، والتفاعلات البينية ذات الشق الطليق، وتكوين رباط تناسقى لدمج الكتل مع بعضها البعض فى مراحل التجميع الأكبر نطاقًا، ومختلف أنواع المعالجات الميكانيكية الكيميائية لتجهيز أدوات جزيئية متفاعلة، واستخدام الطرق التعاقبية المرحلية لتزويد

---

(٢) تفاعلات كيمائية عضوية. (المترجم)

الأنواع الصحيحة من جزيئات التغذية بالموثوقية شبه المثالية، والفروق بين الخطوات الفعالة وغير الفعالة فى معالجة الجزيئات، واستخدام الوفرة لضمان الموثوقية فى المنظمات الكبيرة على الرغم من التلف المتقطع لها والطرق الحديثة لصنع جسيمات أكبر من كتل أصغر، والحواسيب الإلكترونية الحديثة، والطرق الحديثة المستخدمة فى ـــــ".

تقاطعه بقولك: "كفى!"، وعندئذ يلوذ مرشدك السياحى بالصمت وأنت تقذفه فى صندوق إعادة التدوير. ودورة تدريبية فى تصنيع الجزيئات ليست هى ما تبحث عنه الآن، فالفكرة العامة تبدو واضحة بما يكفى. لقد حان وقت إلقاء نظرة أخرى على العالم الكائن بحجم أكثر اعتيادية. فالمنازل والطرق والمبانى وحتى المناظر الطبيعية بدت مختلفة هناك فيما وراء قبة المعرض.. فهى أقل ازدحاماً وممهدة ومحروثة أكثر مما تتذكر. ولكن لماذا؟. إن كتب التاريخ (حسنًا، إنها أكثر من مجرد كتب) تقول إن تصنيع الجزيئات شكل فرقًا كبيراً، وربما تجعله التغيرات الحالية أكثر دلالة. نعم، لقد حان وقت مغادرتك.

بينما تقذف بنظارتك وبزتك ذات القفازين فى صندوق إعادة تدوير آخر، تقوم امرأة لافتة للنظر وذات شعر أسود بأخذ واحدة جديدة من على أحد الأرفف. إنها ترتدى سترة مكتوب عليها اسم أو شعار "التصنيع النانوى بصحراء روز".

تسألك المرأة بابتسامة: "هل أعجبتك المحاكاة؟".

وتقول لها: "نعم، إنها مدهشة للغاية".

توافقك قائلة: "نعم، لقد رأيت نفس هذا، عندما كنت أتلقى دروس التصنيع الجزيئى، وأقسم لك أننى لن أصمم أبدا شيئًا أخرقَ كهذا!. إن كل هذه المنظومة تسترجع الذكريات – ولا أستطيع الانتظار لأرى هل هى خرقاء كما أتذكر". ثم تخطو إلى داخل قاعة المحاكاة وتغلق الباب خلفها.

يبين لك سيناريو معرض وادى السيلكون، أن التصنيع الجزيئى سوف يسير تقريبًا على نفس منوال التصنيع العادى، ولكن مع استخدام أدوات تصنيع صغيرة للغاية لدرجة أن جزيئًا مُلوِّثًا واحداً سائبًا فيها، سوف يعتبر كطوبة ملقاة داخل أداة التشغيل بالجهاز. ولكن لاحظت شركة (جون ووكر) من (أوتوديسك)، وهى شركة رائدة فى مجال التصميمات بواسطة الحاسوب، أن التكنولوجيا النانوية وطرق التصنيع البسيطة الحالية مختلفة تماما عن بعضها بعضًا. "فالتكنولوجيا لم تتمتع قط بمثل هذا التحكم الفائق، وكل واحدة من تكنولوجياتنا الحالية تتعامل مع الكميات الكبيرة من المنتجات.. فنحن نأخذ كتلة كبيرة من المادة ونقطع منها حتى يتبقى لدينا الجسم الذى نريده، أو نقوم بتجميع أجزاء من مكونات معينة بدون الاهتمام ببنيتها على المستوى الجزيئى".

التصنيع الجزيئى سوف ينسق الذرات فى منتجات ذات تعقيد متناغم، ولكن التصنيع المعاصر ينتج فى الأساس ضوضاء عالية. وهذه الضوضاء المجازية تكون أحيانًا موضوعية، مثل شرخ فى مصبوبة معدنية تعرضت إلى إجهاد، أو فشل فى جناح طائرة، أو اصطدام طائرة ركاب نفاثة فى السماء. والتفاعل الكيميائى يخرج عن السيطرة، وتزداد الحرارة والضغط، ويحدث انفجار سام يهز جنبات الريف. لا يمكن صنع منتج منقذ أو محافظ على الحياة، والقلب قد يتوقف ويرسل جهاز متابعة القلب بأحد المستشفيات إشارة فى النهاية، بها صوت مرتفع يشبه العويل والنحيب.

واليوم، نحن نصنع أشياء كثيرة من المعادن بتشغيلها بالمعدات، ومن منظور معاييرنا القياسية وعالم الجزيئات المُحاكى، فإن الجزء المعدنى هو مساحة من الأرض يقطعها المرء فى عدة أيام. والمعدن نفسه ضعيف البنية مقارنا بسلسلة البروتين أو الجسيمات النانوية القوية الأخرى، فمثلا الفولاذ، ليس أقوى من أصابعك المحاكاة، والذرات التى على سطحه يمكن دفعها جانبًا بيديك المجردتين. ولو وقفت على قطعة

معدنية تم تشغيلها على مخرطة، يمكنك أن ترى شفرة قاطعة، وهى تتقدم بضع مرات فى العام، كمحراث مهيب بحجم سلسلة جبال أرضية. كل ممر سوف يُزيح شريحة من المنظر الطبيعى العام للمعدن، تاركة وراءها واد متعرج بما يكفى لحفظ بلدة صغيرة. هذا هو التشغيل بالمعدات من منظور تكنولوجى نانوى، أى إنها عملية لقطع أشكال خام من مواد ضعيفة أساساً.

اليوم تصنع الإلكترونيات من شرائح سليكونية. وقد رأينا بالفعل الشكل العام المحيط بشريحة تامة الصنع. وأثناء تصنيعها تُخلق لها سمات معدنية بواسطة إسقاط رذاذ من مطر من ذرات معدنية تستخدم منذ قرون، ونُنشئ بها تجاويف بواسطة تغطيسها فى حوض حمضى، وهو أسلوب متَّبع منذ قرون. ومن منطلق محاكاتنا، فإن هذه العملية بأسرها تشبه الجيولوجيا مثلما تشبه التصنيع، حيث تترسب طبقات من رواسب رسوبية تتعاقب بفعل التآكل لعصور طويلة. ويُستخدم أحياناً الاصطلاح (تكنولوجيا نانوية) كاسم للتكنولوجيا المجهرية فائقة الصغر، ولكن الفرق بين التصنيع النانوى وهذا النوع من التصنيع المجهرى هو كالفرق بين صناعة الساعات وتشغيل جرافات التربة.

واليوم، يصنع الكيميائيون الجزيئات بواسطة كيمياء النوبان. وقد رأينا كيف يبدو السائل فى محاكاتنا الأولى، حيث تصطدم الجزيئات وتسقط وتنطلق هنا وهناك. ومثلما تقوم أذرع التجميع بخلق تفاعل كيميائى بربط الذرات ميكانيكياً ببعضها بعضاً، فإن التفاعلات يمكن أن تحدث عندما تصطدم الجزيئات عشوائياً ببعضها البعض، أثناء الاهتزاز الحرارى والحركة فى السائل. والواقع أن الكثير من الذى عرفناه اليوم عن التفاعلات الكيميائية يأتى من ملاحظة هذه العملية. ويصنع الكيميائيون جزيئات كبيرة بخلط جزيئات صغيرة ببعضها البعض فى سائل. وعن طريق اختيارهم للجزيئات المناسبة والظروف الصحيحة للتفاعل يمكنهم التحكم فى النتائج بشكل مدهش، حيث تتفاعل أزواج معينة فقط من الجزيئات، وبطريقة محددة فقط.

غير أن إجراء التفاعلات الكيميائية على هذا النحو، يشبه محاولة تجميع سيارة بوضع أجزائها كلها فى صندوق ثم رجّ هذا الصندوق لكى تخرج منه السيارة! هذا الأسلوب لن ينجح إلا بتوفر أجزاء مُشكلة ببراعة، كما أنه من الصعب صنع شيء شديد التعقيد.

ويرى الكيميائيون اليوم، أن التحدى أمامهم هو صنع جسيم دقيق ثلاثى الأبعاد يتكون من مائة ذرة، أما صنع تركيبة تتكون من ألف ذرة، فهذا إنجاز علمى هائل. وفى المقابل، فإن التصنيع الجزيئى سوف يُجَمِّع بشكل نمطى ملايين أو بلايين الذرات. المبادئ الكيميائية الأساسية سوف تظل هى نفسها، ولكن التحكم فى التفاعل وموثوقيته سوف يزداد بقدر هائل. هذا هو الفرق بين قنف بضعة أشياء عشوائيًا، وبين جمعها مع بعضها بدقة واهتمام صانع الساعات.

التكنولوجيا فى أيامنا هذه لا تسمح لنا بالسيطرة على تركيب المادة. أما التصنيع الجزيئى، فسوف يفعل ذلك. تكنولوجيات اليوم أعطتنا حواسيب، مركبات فضائية، أدوات سباكة صحية داخل منازلنا، وغير ذلك من عجائب العصر الحديث. غداً سوف يفعل أكثر من ذلك، حيث سيجلب التغير والاختيار.

المواد البسيطة والمواد الذكية

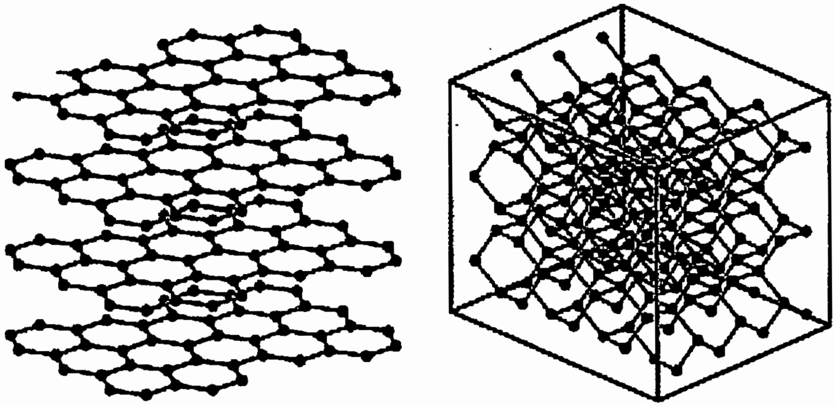
تتعامل تكنولوجيا اليوم مع المادة عمومًا بأشكالها القليلة الأساسية: غازات، سوائل، أجسام صلبة. ورغم أن كل شكل منها له تشكيلاته المميزة، فإنها كلها بسيطة نسبيًا.

الغازات كما رأينا، تتكون من جزيئات تنطلق وترتد فى كل اتجاه فى الفضاء. وأى حجم من غاز سوف يضغط على جدرانه، وما لم يكن محصورًا فى حيز معيّن فإنه

سوف يتمدد بلا حدود. والغازات تزود التكنولوجيا النانوية ببعض المواد الخام، كما يمكن استخدام الأجهزة النانوية لنزع الملوثات من الهواء وتحويلها إلى شيء آخر. والغازات ليست لها بنية، ولذلك تظل دائمًا بسيطة.

السوائل تشبه الغازات إلى حد ما، بيد أن جزيئاتها تترابط مع بعضها البعض بقوة، لتكوين نقطة متماسكة لا يمكنها أن تتمدد أبعد من حد ما. والسوائل مصادر جيدة للمواد الخام للتكنولوجيا النانوية، لأنها أثقل (أكثر كثافة)، ويمكنها حمل قدر كبير من الوقود والمواد الخام الذائبة فيها (تذكر الأنبوب بقاعة المعالجة الجزيئية الذى كان يحتوى على سائل). والأجهزة النانوية يمكنها تنظيف الماء الملوَّث بنفس سهولة تنظيف الهواء، وذلك بنزع الجزيئات السامة وتحويلها إلى شيء آخر. والسوائل لها بنية أقوى من الغازات، غير أن الأجسام الصلبة هى أهم استخدامات فى مجال التكنولوجيا النانوية.

الأجسام الصلبة مختلفة. فالزبد الصلب يتكون من جزيئات أقوى من الفولاذ، غير أن الجزيئات ترتبط ببعضها بعضًا بروابط جزيئية أضعف. والقليل من الحرارة يزيد الاهتزازات الحرارية، ويجعل البنية الصلبة تنحل إلى نقط من سائل. والمواد الشبيهة بالزبد تؤدى أداء شيء فى الأجهزة النانوية. أما المعادن فتتكون من ذرات ممسوكة ببعضها البعض بروابط أقوى، وعلى ذلك، فهى أقوى بنيويًا، ويمكنها تحمل درجات حرارة أعلى بكثير. ولكن القوى ليست اتجاهية تمامًا، ولذلك، يمكن لمستويات الذرات المعدنية أن تنزلق على بعضها بعضا تحت الضغط، ولهذا السبب، تنحنى الملاعق بدلا من أن تنكسر. وهذه القدرة على الانزلاق تجعل المعادن أقل تقصُّفًا وأسهل فى تشكيلها (بتكنولوجيا الخام)، ولكن هذا يُضعفها. وفقط أقوى وأصلد المعادن التى لها درجات انصهار عالية هى التى تستحق أخذها فى الاعتبار كأجزاء تُستخدم فى الأجهزة النانوية.



الشكل ٢ : الكربون – الطرى والصلب، ك. إريك ديكسلر

على اليسار الجرافيت – وهى المادة المسماة "رصاص" فى الأقلام الرصاص – المكون من ذرات كربون. على اليمين الماس – وهى نفس المادة، ولكنها مرتبة بنمط مختلف.

يتكون الماس من ذرات كربون مرتبطة ببعضها بعضاً بروابط اتجاهية قوية، مثل الروابط الموجودة بمحور سلسلة البروتين (انظر الشكل ٣). وهذه الروابط الاتجاهية تجعل من الصعب انزلاق مستويات الذرات على بعضها البعض، مما يجعل الماس (والمواد المماثلة له) قوية جداً فى الحقيقة.. بما يعادل عشرة إلى مائة مرة أقوى من الفولاذ. بيد أن تلك المستويات لا تنزلق بسهولة، ولذلك، عندما تنهار المادة، فإنها لا تنحنى وإنما تنكسر. الزجاج مادة مشابهة، فعلى الرغم من أن زجاج النوافذ يبدو ضعيفاً

– وخدشه يجعله أكثر ضعفًا – فإن الألياف الزجاجية الرقيقة المثالية تُستخدم بكثرة لعمل مواد مركبة أقوى وأخف من الفولاذ. وسوف تتمكن التكنولوجيا النانوية من أن تصنع من الماس والمواد القوية مثله ألياف ومكونات صغيرة رائعة خالية من العيوب.

وفى الهندسة الحديثة، بدأ استخدام الماس. واستحدثت اليابان تكنولوجيا لصنع الماس تحت ضغط منخفض، وتبيع الآن إحدى الشركات اليابانية مكبر صوت ذا استجابة رائعة للترددات العالية، حيث يُقوى مكبر الصوت بطبقة رقيقة خفيفة ومتينة من الماس. والماس مادة غير عادية، مصنوعة من مواد رخيصة، مثل الغاز الطبيعى. والشركات الأمريكية تجتهد الآن لمسايرة ذلك التطور.

كل تلك المواد بسيطة. والتركيبات الأكثر تعقيداً تقود إلى خواص أكثر تعقيداً، وقد بدأت تعطى إشارة عما سوف تعنيه عمليات التصنيع الجزيئى للمواد فى المستقبل.

تُرى ماذا يحدث إذا سلكت ذرات كربون فى سلاسل طويلة وربطتها ببعضها بعضاً فى شبكة ضخمة ثلاثية الأبعاد؟. إذا ربطت تلك السلاسل، بحيث لا يمكنها أن تتراص بإحكام، فإنها سوف تلتف وتنطلق بتخبُط هنا، وهناك مثلما تفعل جزيئات السوائل، غير أن الروابط القوية سوف تجعل الشبكة شديدة التماسك. وجذب الشبكة كلها سوف يميل إلى تقوية السلاسل، إلا أن حركاتها الالتفافية سوف تميل إلى لفها بالعكس مرة أخرى. وهذا النوع من الشبكة تم صنعه بالفعل، وتُسمى "مطاط".

والمطاط ضعيف أساساً، لأن الشبكة غير منتظمة. وعند جذب الشبكة، تنقطع أولا إحدى السلاسل ثم أخرى وهكذا، لأنها لا تتوتر كلها فى نفس الوقت، لاقتسام وتوزيع الحِمل والشبكة الأكثر انتظاماً، سوف تكون ضعيفة كالمطاط فى البداية، ولكن عند شدها إلى أقصى حد سوف تصبح أقوى من الفولاذ. والتصنيع الجزيئى يمكن أن يصنع مثل تلك المواد.

يتكون العالم الطبيعى من الكثير من المواد الجيدة، مثل السليلوز واللجنين فى الخشب، البروتينات الأقوى من الفولاذ فى النسيج الحريرى للعنكبوت، الخزفيات الصلبة فى حبات الرمال وهكذا، سوف يتم تصميم منتجات كثيرة للتصنيع الجزيئى تتمتع بمتانة كبيرة، مثل الرمل. وسيتم تصميم منتجات أخرى تتحطم بسهولة ثم يعاد تدويرها بسهولة، مثل الخشب. وبعضها سيصمم لاستخدامات معينة سريعة، حيث يتم التخلص منها فيما بعد. وفى هذه المرتبة الأخيرة، سوف تبرز المنتجات المنحلة حيويًا وغير المصنوعة لغرض معين. ومع العناية والاهتمام، فإن أى نوع تقريبًا من المنتجات، من الحذاء إلى الأجهزة النانوية التى تعمل حاسوبيًا، يمكن صنعها لكى تستمر لمدة طويلة جدًا، ثم تتقوض بسرعة نسبيًا وبشكل كامل إلى جزيئات وفتات أخرى من مواد من كل الأنواع التى توجد طبيعيًا فى التربة.

هذا الكلام يعطى لمحة فقط لما سوف يجعله التصنيع الجزيئى ممكنًا، من خلال التحكم الأفضل فى تركيب المادة الصلبة. وأهم التطبيقات المؤثرة لن تكون المواد ذات البنية فائقة القوة، مثل المطاط المُحَسَّن والمواد البسيطة المنحلة حيويًا، وهى مواد ذات تركيب منتظم وتكرارى، ولا تختلف كثيرًا عن المواد المعتادة. هذه المواد تعتبر "غبية". وعند دفعها، فإنها تقاوم أو تستطيل وترتد إلى ما كانت عليه. ولو وجهت ضوءًا ساطعًا تجاهها، فإنها تمرره أو تعكسه أو تمتصه. ولكن التصنيع النانوى يمكنه عمل ما هو أكثر من ذلك. فبخلاف تكبير حجم الجزيئات البسيطة، فإنه يمكنه صنع مواد من تريليونات المحركات الكهربائية والتروس والسقاطات ومرسلات الضوء والحواسيب.

العضلات أذكى من المطاط، لأنها تحتوى على أجهزة جزيئية، فمثلا يمكن أن نطلب منها أن تنقبض. ومنتجات التصنيع النانوى يمكن أن تشمل مواد قادرة على تغيير شكلها ولونها وخواص أخرى عند طلب ذلك منها. وعندما تحتوى ذرة التراب على حاسوب فائق، يمكن عندئذ صنع مواد أذكى، والأنوية والعقاقير يمكن تطويرها، وسوف يكون العالم مكانًا مختلفًا. وسوف نستعرض فى الفصل الثامن هذه المواد الذكية.

الأفكار والانتقادات

استعرضنا لتونا صورة عامة للتصنيع النانوى (من نوع واحد) وما يمكن أن يحققه (بايجاز). والآن لنتطرق إلى فكرة التكنولوجيا النانوية ذاتها: من أين أتت، وما هو رأى الخبراء فيها؟. سوف يطرح الفصل التالى المزيد بشأن النقطة الأخيرة، مع عرض أفكار الباحثين الذين يقودون هذا المجال، وذلك من خلال أعمالهم وأنشطتهم ذاتها.

الأصول

فكرة التكنولوجيا النانوية الجزيئية، مثل أكثر الأفكار، لها جذور تمتد عميقًا فى الزمن البعيد. ففى اليونان القديمة، اقترح (ديموقريطس) أن العالم مكون من جسيمات متينة وخفية – هى الذرات، وحدات بناء الأجسام الصلبة والسوائل والغازات. وخلال المئة سنة الأخيرة، عرف العلماء الكثير والكثير عن وحدات البناء هذه، وعرف الكيميائيون أيضًا الكثير والكثير من طرق جمعها مع بعضها البعض لصنع أشياء جديدة. ومنذ بضعة عقود، وجد علماء الأحياء جزيئات تفعل أشياء مركبة، أطلقوا عليها "الأجهزة الجزيئية".

كانت للفيزيائى "ريتشارد فيمان" رؤية للتصغير الفائق أو (النمنمة)، وقد أشار إلى شىء ما مثل التكنولوجيا النانوية الجزيئية، ففى ٢٩ ديسمبر ١٩٥٩ فى حديث له بعد تناول طعام العشاء فى الاجتماع السنوى لجمعية الفيزيائيين الأمريكيين، اقترح أن الأجهزة الكبيرة يمكن استخدامها لصنع أجهزة أصغر، والأخيرة يمكنها صنع أجهزة أصغر، وهكذا يستمر النزول بالنمط "من أعلى إلى أسفل"، أى من الأحجام

الكبيرة إلى الأحجام المجهرية فائقة الصِغَر. وفى نهاية حديثه قال مشيراً إلى رؤيته لحركة الذرات المنفردة: "إنَّ مبادئ الفيزياء، على قدر علمى، لا تنفى إمكانية صنع الأشياء بوضع ذرة مع أخرى". ولقد طرح علينا فكرة صنع الجزيئات، بما يتفق بوضوح مع الاتجاه الذى سارت فيه الفكرة المعاصرة للتكنولوجيا النانوية، بقوله: "ولكن من المثير أنه يمكن، من حيث المبدأ، للفيزيائى أن يُخَلِّق أى مادة كيميائية يكتب الكيميائى تركيبها. أى إن الكيميائى يُعطى الأمر لكى ينفذه الفيزيائى بتخليقها. لكن كيف يتأتى هذا؟.. فقط ضع الذرات، حيثما يقول الكيميائى وهكذا تصنع تلك المادة".

بالرغم من هذا التوجيه المعلمى الرائع والواضح الذى يُلمِّح إلى مجال ثورى محتمل، لم يتمكن أحد من ملء الثغرة الفكرية بين الأجهزة المنمنمة والمواد الكيميائية. إذ لم تكن هناك فكرة واضحة عن كيفية صنع أجهزة جزيئية قادرة على صنع أجهزة أخرى، ولا أى فكرة عن تصنيع جزيئى متحكم فيه. ومن خلال تحليل الأحداث الماضية، يتساءل المرء لماذا احتاجت تلك الثغرة إلى وقت طويل جداً لرأبها. وحتى (فيمان) نفسه لم يتابع الأمر، وقال إنَّ القدرة على صف الذرات واحدة بعد أخرى "لن تكون مفيدة بالمرة" لأن الكيميائيين سوف يتوصلون إلى طرق تقليدية أسهل لصنع كيماويات جديدة. وبالنسبة إلى باحث اهتمامه الأكبر هو الفيزياء، فقد ساهم كثيراً جداً بمجرد طرح هذا المعلم التوجيهى المهم، وكان على الآخرين التحرك به قدماً. ولكن بدلا من ذلك، اختفت فكرة الأجهزة الجزيئية التى تقوم بتصنيع الجزيئات، ولم تظهر لعقود طويلة.

من وجهة النظر الحالية تبدو التكنولوجيا النانوية الجزيئية أكثر شبهاً بامتداد للكيمياء منها كامتداد لفكرة النمنمة. والمهندس الميكانيكى عندما ينظر إلى التكنولوجيا النانوية يسأل: "كيف يمكن صنع أجهزة صغيرة إلى هذا الحد؟".. غير أن الكيميائى يسأل: "كيف يمكن صنع جزيئات كبيرة هكذا؟"، والكيميائى هنا هو الذى يطرح سؤالا أفضل. فالتكنولوجيا تهدف أساساً إلى نمنمة الأجهزة، ولكنها أساساً لنشر التحكم

الدقيق فى التركيب الجزيئى فى نطاقات أوسع وأوسع. التكنولوجيا النانوية هى من أجل صنع أشياء دقيقة للغاية لتبدو كبيرة.

المكونات العيانية[٣] والجزيئية		
التكنولوجيا	الوظيفة	أمثلة جزيئية
الدعامات، الكمرات، الأنابيب المتصلة لولبيا	تنقل القوى وتثبت الأوضاع	جدران الخلايا، الأنابيب الخلوية المنمنمة
الكابلات	تنقل التوتر أو الشدّ	الكولاجين، الحرير
أدوات الربط والتثبيت، غراء	توصل الأجزاء	القوى فيما بين الجزيئات
الملفات اللولبية، المُشغلات	تحرك الأشياء	أكتين العضلات، الميوسين
المحركات الكهربائية	تدير أعمدة التشغيل	المحرك السوطى
أعمدة الإدارة	تنقل عزم التدوير	الزوائد السوطية للبكتريا
كراسى التحميل (المحامل)	تحمل الأجزاء المتحركة	الروابط الفردية
الماسكات (القامطات)	تمسك قطع التشغيل (أثناء تشغيلها)	أماكن الروابط الإنزيمية
العدد والأدوات	تُستخدم فى معالجة وتغيير شكل قطعة التشغيل	الأنزيمات والجزيئات المتفاعلة
خطوط الإنتاج	تنتج النبائط والأجهزة	منظومات الأنزيمات والريبوسومات
منظومات التحكم الرقمى	تُخزّن وتقرأ البرامج	المنظومة الوراثية
منقول بتصرُّف من كتاب ك. إ. دريكسلر "أعمال الأكاديمية القومية للعلوم"، مجلد ٧٨ (عام ١٩٨١)، الصفحات من ٥٢٧٥ - ٥٢٧٨		

(٣) ترى بالعين المجردة.(ماكروسكوبية). (المترجم)

إنَّ الطبيعة تعطينا أدلة واضحة لكيفية تنفيذ ذلك، وقد أدى تزايد الكتابات والمؤلفات العلمية بشأن الأجهزة الجزيئية الطبيعية، إلى أن اقترح أحد المؤلفين الحاليين (دريكسلر) تنفيذ التكنولوجيا النانوية من النوع الموصوف فى هذا الكتاب. وكانت إستراتيجية الوصول إلى الهدف جزءا لا يتجزأ من الفكرة التى مفادها: إنشاء أجهزة جزيئية متزايدة التعقيد من قطع وأجزاء أبسط منها، ويشمل ذلك أجهزة جزيئية قادرة على صنع المزيد من الأجهزة الجزيئية. ولكن ماذا بشأن الحافز على دراسة ذلك، وماذا بشأن الطباعة والنشر؟ إن الخوف هنا يكمن أساسًا من الحياة فى عالم قد يندفع بطيش أو كالأعمى إلى تكنولوجيا جديدة ما ذات نتائج وتداعيات مروِّعة وفظيعة.

هذه كانت الفكرة، وكان العمل الإشرافى الأول هو الذى بدأ عام ١٩٧٧ بمعهد ماساشوسيتس للتقنية، ثم نُشرت أول نشرة فنية عام ١٩٨١ فى "أعمال الأكاديمية القومية للعلوم". وطول سنوات بعد ذلك، ظل معهد ماساشوسيتس للتقنية مركزًا للتفكير فى التكنولوجيا النانوية والتصنيع الجزيئى، ففى عام ١٩٨٥ نشأت جماعة دراسة التكنولوجيا النانوية بمعهد ماساشوسيتس للتقنية وسرعان ما باشرت إلقاء سلسلة من المحاضرات السنوية، تحولت قبل نهاية عام ١٩٩٠ إلى منتدى لمدة يومين.

أول كتاب عن موضوعنا هو "أدوات ومحركات الإبداع" تم نشره عام ١٩٨٦. وفى عام ١٩٨٨، أصبحت جامعة ستانفورد أول من يقدِّم برنامجًا تدريبيًا فى التصنيع الجزيئى، برعاية وزارة علوم الحواسيب. وفى عام ١٩٨٩ استضافت تلك الوزارة أول مؤتمر رئيسى عن موضوعنا، برعاية مشتركة من معهد فورسايت وشبكة الأعمال العالمية. ومع ظهور طبعة لاحقة من كتاب فنى يصف التكنولوجيا النانوية - من مبادئ ميكانيكا الجزيئات وميكانيكا الكم، وصولا إلى أنظمة التجميع والمنتجات - أصبح الموضوع أسهل فى تدريسه، وسوف يتم طرح المزيد من البرامج الجامعية للمهتمين بالموضوع.

وبالتوازى مع تطور وانتشار الأفكار الخاصة بالتكنولوجيا النانوية والتصنيع الجزيئى - وهى أفكار ستظل نظرية مهما كانت راسخة الأساس - بدأ المهندسون والعلماء العمل فى المختبرات لابتكار أدوات وقدرات حقيقية لها، وبدأوا يأخذون أدواراً ريادية فى الطرق المؤدية إلى التكنولوجيا النانوية. والواقع أن الأبحاث تقدمت كثيراً منذ منتصف ثمانينيات القرن العشرين، كما سنرى فى الفصل التالى. ولكن كما قد يتوقع المرء لأى فكرة جديدة ومعقدة، فإنها ربما تُحدث خللا أو ضرراً للمخططات والتوقعات الحالية للناس، ومن هنا تُثار بعض الاعتراضات عليها.

لن تنجح التكنولوجيا النانوية

ربما كانت الحياة أكثر بساطة، إذا كان لتلك الأفكار بشأن التكنولوجيا النانوية بعض جوانب الخلل المُهلك. فمثلا، إذا لم يتيسر استخدام الجزيئات لصنع أجهزة، أو إذا فشلت تلك الأجهزة فى صنع أشياء، عندئذ، ربما نكون قادرين على العودة إلى استخدام تكنولوجياتنا القديمة البسيطة، أى أدويتنا التى لا تعالج أحداً ومركباتنا الفضائية التى لا تفتح جبهة جديدة فى الكون، ونفطنا الذى يواجه أزمات، وتلوثنا وكل القيود التى تمنعنا من مبادلة المشاكل المألوفة بمشاكل غريبة.

أكثر الأفكار الجديدة خاطئة، خصوصًا، إذا كانت تزعم أنها تُدخل تغييرات جوهرية، وليس من غير المعقول أن نتمنى أن تكون خاطئة. ومن سنوات النقاش مع الكيميائيين والفيزيائيين والمهندسين، من الممكن أن نجمع ما يبدو أنه قائمة كاملة بأسئلة أساسية وجوهرية وحرجة، عما إذا كانت التكنولوجيا النانوية سوف تنجح أم لا. وطارحو الأسئلة يبدون عموماً راضين عن الإجابات.

هل تعبث الاهتزازات الحرارية بالأشياء؟

تصف لنا السيناريوهات السابقة طبيعة الاهتزازات الحرارية، والمشاكل التى يمكن أن تسببها. وتصميم أجهزة نانوية قوية وجاسئة للغاية بما يكفى لتعمل بكفاءة وموثوقية رغمًا عن أنف الاهتزازات الحرارية التى تمثل تحديًا هندسيًا هائلاً. بيد أن حساب متطلبات هذا التصميم تحتاج عادة إلى معرفة المبادئ المذكورة فى كتاب دراسى بسيط، وهذه المتطلبات يمكن الوفاء بها لكل شيء تم شرحه بهذا الكتاب.

هل يعبث اللايقين الكمي بالأشياء؟

تقول ميكانيكا الكم أن الجسيمات يجب وصفها "كلطخات" صغيرة من الاحتمالية وليس كمواقع محددة بالضبط. والحقيقة أن هذا هو السبب فى أنّ الذرات والجزيئات أثناء عملية المحاكاة كانت تحس بها طرية وناعمة، ذلك أنّ إلكتروناتها منتشرة حول كل حجم الجزيء، وهذه السحابة الإلكترونية تقل تدريجيا على نحو طرى وناعم باتجاه الحواف. والذرات ذاتها ليس لها موقع محدد بالضبط، غير أن هذا تأثير صغير بالمقارنة بالاهتزازات الحرارية. ومرة أخرى نجد أن مبادئ الكتاب الدراسى البسيط تنطبق هنا، ومن ثم تعمل الأجهزة الجزيئية جيدة التصميم بنجاح.

هل تعبث الجزيئات الحرة بالأشياء؟

يعمل الكيميائيون مع جزيئات حرة فى السوائل المتباينة، وهم بطبيعتهم يميلون إلى تصوُّر الجزيئات على أنها تطير حرة من مكان إلى آخر بالسائل. ومن الممكن صنع الأجهزة النانوية ومنظومات التصنيع الجزيئى التى تعمل فى بيئة العمل تلك (والآليات الحيوية دليل موجود وحىّ على ذلك)، ولكن على المدى الطويل، لن تكون هناك حاجة

لذلك. ومعرض وادى السليكون يُعطينا الفكرة الصحيحة: المنظومات يمكن صنعها بدون جزيئات حرة، مما يجعل عمل التصميمات الميكانيكية النانوية أسهل بكثير. وإذا لم يكن ثمة جزيئات حرة داخل الجهاز النانوى، إذن فإنها لن تسبب أى مشاكل هناك.

هل يعبث عدم الاستقرار الكيميائي بالأشياء؟

الكيميائيون يُجرون تفاعلات كيميائية، بمعنى أنهم يميلون للعمل مع جزيئات متفاعلة وغير مستقرة. ولكن الكثير من الجزيئات يمكنها أن تقبع مكانها فى سلام مع جيرانها لملايين السنين، كما هو معروف من كل من النظرية الكيميائية ودراسة الجزيئات المحبوسة في الصخور الموغلة فى القدم. الأجهزة النانوية يمكن صنعها من أنواع من المادة أكثر ثباتا فى تركيبها. الاستثناء الضرورى الوحيد هنا، هو تجميع الجزيئات، حيث يجب أن تتفاعل الجزيئات مع بعضها البعض، ولكن حتى هنا فإنَّ الجزيئات المتفاعلة لا يلزم أن تكون حرة. إذ يمكنها التفاعل حيثما وحينما تكون مطلوبة فى عملية التصنيع.

هل التكنولوجيا النانوية شديدة التعقيد مثل علم الأحياء؟

توجد طريقة سهلة لشرح التصنيع الجزيئى: هى أنه يشبه إلى حد ما علم الأحياء الجزيئى، فهو عبارة عن أدوات وأجهزة جزيئية صغيرة ومعقَّدة تعمل جماعيًا مع بعضها البعض لصنع أشياء كثيرة وأداء وظائف متعددة. ولكن النقطة التالية هى أن التصنيع الجزيئى مختلف فى كل تفاصيله وفى تركيبته العامة، فمثلا، قارن بين الحواسيب النانوية وأذرع التجميع والسيور الناقلة المذكورة فيما سبق بالخلية الحية

المشوشة الهائجة الموصوفة فى الفصل السابق. علم الأحياء معقَّد بطريقة غريبة، وفى نفس الوقت رائع. والمهندسون لا يحتاجون فقط إلى فهم الحياة، أو بدرجة أقل أن يستنسخوها، وإنما المطلوب منهم فقط هو بناء مصنع بالمقاييس الجزيئية!

ويمكنك بالطبع أن تطرح السؤال التالى: "أنا لا أرى خطأ أو يأسًا فى كل ذلك.. ولكن الأمر واسع ومتعدد الجوانب العلمية والفنية.. أليست هناك مشكلة ما لا أراها أنا؟".

التكنولوجيا النانوية هى أساسًا تزاوج أو اندماج اضطرارى بين الكيمياء والهندسة الميكانيكية، مع تولى الفيزياء (كالعادة دائما) القيادة. ويجعل هذا من الصعب على أكثر المتخصصين الحاليين عمل تقييم كامل، لأن كل فرع أو موضوع علمى يتم تدريسه منفردًا وعادة ما يتم ممارسته منفردًا أيضًا. وكثير من الخبراء الذين لديهم خلفية رائعة وعالية التركيز يجدون أنفسهم غير جاهزين أو قادرين على تقييم الاقتراحات المتداخلة مع أفرع علمية أخرى. وعندما نطلب منهم أن يفعلوا ذلك، فإنهم يشعرون بعدم الارتياح، فعلى الرغم من أنهم لا يحددون أى مشكلة معينة تواجههم، فإنهم لا يستطيعون التأكد من صحة أو سلامة الفكرة ذاتها أو المفهوم نفسه. أما المهندسون والعلماء الذين لديهم خلفية علمية متعددة الجوانب والسمات، أو لديهم اتصالات بخبراء من مجالات علمية أخرى، يمكنهم تقييم الفكرة من جميع جوانبها. وسوف نقابل بعض أولئك فى الفصل الرابع.

التكنولوجيا النانوية سوف تنجح

عندما يقوم الفيزيائيون والكيميائيون وعلماء الأحياء والمهندسون وعلماء الحواسيب بتقييم تلك الأجزاء من التكنولوجيا النانوية التى تدخل فى تخصصاتهم العلمية، فإنهم يطلبون جميعًا ما يلى: ألا تتطلب أو تخلق فى أى وقت من الأوقات

أسساً ومبادئ جديدة، وألا تتعارض مع القوانين الفيزيائية. وربما يظهر عبر سنوات كثيرة بعض الخبراء الذين يطرحون آراءً ارتجالية من وحىّ اللحظة، ولكن الإجماع بين هؤلاء الذين أخذوا وقتهم لدراسة الحقائق واضح تمامًا. ولنعلم أن التكنولوجيا النانوية الجزيئية تقع بالكامل داخل إطار ما هو ممكن.

إنها ستنجح، ولكن أليس تنفيذها بالفعل فكرة سيئة ؟

- إذا كان ذلك معناه أنّ: "تلك التكنولوجيات الجديدة يمكن أن تسبب لنا بسهولة أضرارًا أكثر مما تسبب من منافع"، إذن، ليس ثمة خلاف، لأنه لا أحد سوف يعترض.
- وإذا كان ذلك معناه أنّ: "تلك التكنولوجيات الجديدة سوف تسبب لنا أضرارًا أكثر مما تسبب من منافع"، إذن سوف نعترض، فالمنافع الكثيرة ممكنة أما الأضرار المتعددة فيمكن تجنبها، وسوف يكون من قبيل الجرأة أن نعلن تلك النتيجة (مؤكدة).
- وإذا كان ذلك معناه أنّ: "تلك التكنولوجيات الجديدة يجب تجنبها"، إذن سوف نرد: "كيف؟.. قولوا لنا ما المخاطر وما النتائج؟". يقول لنا الفصلان الثانى عشر والثالث عشر، أن الأكثر أمانًا أن تركب الوحش بدلا من التعلق بذيله بينما يتدافع الآخرون لركوبه.
- وإذا كان ذلك معناه أنّه: "لا تفكر فيها ولا تصفها لنا"، إذن سوف نرد: "وما إذن الطريقة الأخرى التى يمكننا بها فهمها أو اتخاذ قرارات بشأنها؟".

إنّ القدرات والإمكانات البشرية المتزايدة أدى استخدامها بطبيعة الحال إلى اتلاف البيئة وإعلان الحروب. وحتى التكنولوجيا البسيطة فى القرن العشرين أخذتنا

إلى وضع حرج. ومن الطبيعى أن نشعر بالبهجة (أو الرعب) من اقتراح ما يعدنا (أو يهددنا) بتوسيع قدرات وإمكانات البشر لما يتعدى أحلامنا (أو كوابيسنا). ومن الأفضل لنا أن نشعر بهذين الإحساسين وأن نخلطهما ونلطفهما ونوفق بينهما، وأن نشرع فى السير فى طريق العمل، بحيث نقلل من احتمال حدوث النتائج السيئة. إننا مقتنعون بأنَّ أفضل طريق لنا هو التركيز على المنافع المحتملة مع التحذير من الأضرار المتوقعة.

ولكن أليس من المحتمل ألا تصل إلينا ونحن على قيد الحياة؟

قد نجد مبرراً للمرضى الذين تدهورت صحتهم فى قول العبارة السابقة، أما الآخرون، فيعبرون عن تصور ما قد يكون خاطئًا. ولعلنا نكون متفائلين لو قلنا إن المنافع قريبة الحدوث وفى المتناول، ولكن من الحكمة أن نفترض أنها ستتأخر كثيراً وبالعكس سوف يكون من التفاؤل أن نفترض أن المخاطر ستتأخر طويلا، والأجدر أن نفترض أنها سوف تصل سريعًا. وأيًا كانت المنافع أو المساوئ التى ستحدث من الإمكانات اللاحقة للإنجازات العلمية الكبرى، فإن الاضطراب المقترن بالتحول القادم سوف يشكِّل خطرًا حقيقيًا. وبينما ندعو القراء لأخذ موقف: "وماذا لو؟" تجاه تلك التكنولوجيات، فإنه من الحصافة أن ننصت إلى الصوت الهادئ بالتوقع: "ليس أثناء حياتنا".

"حتى فى أيامنا هذه، فإنَّ القبول العام للبشر عن استكشافات الفضاء بطيء.. والمتصور أن هذا حدث سوف يعايشه أطفالنا، ولكن بالقطع ليس هناك أى استكشاف سوف نعاصره نراه خلال حياتنا".

- إ. بيرجوست و و. بيلار.

- مقتبس من كتاب "مقدمة للأقمار الصناعية" كُتِب فى يوليو ١٩٥٧. "القمر الصناعى سبوتنيك يدور حول الأرض"، نُشِر عام ١٩٥٧. "آثار أقدام على القمر"، نُشِر عام ١٩٦٩.

وجهة نظر

نحن ما زلنا نبعد سنينًا طويلة عن التكنولوجيا النانوية المبنية على التصنيع الجزيئى. بل إنه يبدو أن أولئك العمالقة الذين يتميزون بالضخامة والبطء - أى نحن البشر - لن يتمكنوا أبدا من صنع تلك الأجهزة الصغيرة السريعة. والأقسام التالية من الكتاب سوف تصف كيف تقود تطورات العلم والتكنولوجيا المسيرة تجاه تحقيق تلك الإمكانات. وسوف نحاول أن نتلمس طريقنا ونلقى بعض الضوء عليه، مثلا طوله وسرعة تحركنا عليه. ونحن الآن قريبون بشكل مذهل من تطوير تقانة تصنيعية جزيئية بسيطة، بل ونزداد قربًا كل أسبوع منها. التكنولوجيا البسيطة الأولى سوف تمكننا من صنع الأجهزة الجزيئية التى يمكن استخدامها لصنع أجهزة جزيئية أفضل، وهكذا يتم تسلق سلم للإمكانات التى تقود إلى أدوات تجميع جزيئية متعددة الأغراض، ربما تكون أفضل أو أسوأ من تلك الموصوفة فى هذا الكتاب.

فى ذلك الوقت، سوف تكون الفرص المتاحة هائلة. وإذا لم نستعد لها، فستكون المخاطر أيضًا هائلة. ولكن سواء كنا مستعدين أم لا، فإنَّ التغيرات الناجمة سوف تكون مدمرة وتكتسح الصناعات الموجودة وتضع نهاية للإستراتيجيات العسكرية وتغيِّر أساليب حياتنا.

الفصل الرابع

المسارات والرواد والتطورات

ثمة سؤال أساسي بشأن التكنولوجيا النانوية هو: "متى يتم تنفيذها؟".. والإجابة بسيطة: لا أحد يعرف. وكذلك: "كيف ستتصرف الأجهزة الجزيئية؟".. هذا أمر يتعيَّن حسابه. ولكن سؤال: "ما المدة التى تلزم لتطويرها"؟.. فهذه قضية منفصلة تمامًا. فالجداول الزمنية للتكنولوجيا لا يمكن حسابها من قوانين الطبيعة، وإنما يمكن فقط تخمينها. وفى هذا الفصل، سوف نستعرض مسارات للتكنولوجيا النانوية، ونسمع بعض ما يقوله الرواد، ونصف التقدم الذى تم إحرازه بالفعل حتى الآن. إلا أن ذلك لم يجب عن سؤالنا الأساسى، لكنه سوف يقوى من تخميننا.

التكنولوجيا النانوية الجزيئية يمكن تطويرها بأى واحدة من طرق كثيرة مختلفة تمامًا. وكل واحدة من تلك البدائل الأساسية تشمل بداخلها بدائل أكثر. وسوف يتساءل الباحثون: "وكيف يمكننا تحقيق تقدم سريع؟". لكى نتفهم الإجابات التى يمكنهم التوصل إليها على هذا السؤال، علينا أن نطرح نفس هذا السؤال هنا، مستخدمين للحظة الهتاف الحماسى "هيا بنا.. كيف نتبنى وضعية تنفيذ هذا العمل؟".. ونحن سنطرح هنا إجابات بعض الباحثين على هذا السؤال بكلماتهم ذاتها.

- **هل ستحقق فعلا يوما ما؟**

هذا السؤال مثله مثل "متى ستتحقق؟ سؤال رئيسى، لكن إجابته لا يمكن القطع بها. ولكن هنا أيضًا تبدو الإجابة واضحة إلى حد ما فطوال التاريخ عمل الناس لتحقيق تحكم أفضل بالمادة، أى لإقناع الذرات بأن تفعل ما نريد منها أن تفعله. وحدث ذلك حتى قبل أن يعرف الناس أنه توجد ذرات، ثم تسارعت وتيرة هذا الأمر منذ ذلك الحين. وعلى الرغم من أن صناعات مختلفة تستخدم مواد متباينة وأدوات ووسائل مختلفة، فإن الهدف الرئيسى دائمًا هو نفسه. إنهم يبحثون عن تحقيق أشياء أفضل وجعلها أكثر نظامية، ويعنى ذلك تحكم أفضل فى تركيب المادة. ومن هذا المنظور، فإن التكنولوجيا النانوية هى التى عليها الدور، كخطوة طبيعية فى مسيرة البشرية التى تتقدم حثيثًا منذ آلاف السنين.

خذ مثلا حالة القرص المدمج الذى حل الآن محل الأسطوانات الصوتية المجسّمة القديمة.. كلتا التكنولوجيات القديمة والجديدة تشكل نماذج ما على البلاستيك، ولكن فى حالة الأقراص المدمجة، نجد أن تجاويف السطح المُشَكّل تتروح من نحو ١٣٠ - ٦٠٠ نانومتر حجمًا فقط، مقابل ١٠٠ ألف نانومتر أو نحو ذلك، لعرض أخاديد فى الأسطوانة القديمة. أو انظر مثلا إلى الحاسوب الشخصى. أشار "جون فوستر"، وهو فيزيائى بمركز أبحاث "ألمادن" بشركة (IBM)، إلى القرص الصلب وقال: "داخل هذا الصندوق توجد حفنة من الأقراص الطنانة، وكل واحد من تلك الأقراص له غلاف معدنى يتم فيه تخزين المعلومات. وآخر شىء أعلى هذه الطبقة المعدنية هو غشاء رقيق للغاية يعمل كمادة مُزلقة بين القرص والرأس الذى تجرى فوقه. وهذا الغشاء أحادى الجزىء لا يبلغ سمكه ١٥ أنجستروم (١٥ أنجستروم = ١,٥ نانومتر) ولا ٣ أنجستروم، لأن الخمس عشرة والثلاثة لم ينجح أى منهما. إذن يجب أن يكون ١٠ × جزيئية بضعة أنجسترومات. وهذا بالتأكيد يدخل فى نطاق عالم النانو. ونحن الآن فى هذا المستوى، كما أننا نبيعه كل يوم ونكسب منه مالا كل يوم".

الترانزستورات الموجودة بشريحة الحاسوب يصغر حجمها يوماً بعد آخر بمعدل شديد التسارع. ويتوقع "باتريك أرنيت"، زميل فوستر بشركة (IBM)، استمرار هذا الاتجاه ويقول: "إذا استمريت على هذا المعدّل، فسوف ينتهى بك الأمر عند حجم مساو لحجم الذرة فى عام ٢٠٢٠ أو نحو ذلك.. هذه هى طبيعة التكنولوجيات الآن.. والمرء يتوقع أن يسير على هذا المنوال إلى أقصى حد ممكن". وهذا الاتجاه واضح، وعلى الأقل بعض النتائج يمكن توقعها، ولكن المسار الدقيق والجدول الزمنى للتكنولوجيا النانوية لا يمكن التنبؤ بها. ويدخل عدم التوقع هذا فى قلب الأسئلة المهمة التالية: "كيف يمكن تطوير تلك التكنولوجيات؟".. "ومن سيفعل ذلك؟".. "وأين؟".. "ومتى؟".. بعد عشر سنوات مثلا، أم خمسين أم مئة عام. "هل سيرى هذا الأمر النور فى حياتى؟".. وتتوقف الإجابات على ما يفعله الناس بوقتهم ومواردهم، وهو ما يعتمد على ما هى الأهداف التى يعتقدون أنها واعدة جداً. وسوف تُشكل الاتجاهات والميول الإنسانية والفهم والأهداف المتوقعة والمحتملة كل هذا الفرق.

• ما القرارات التى تؤثر أكثر على معدّل السير إلى الأمام؟

القرارات الخاصة باتجاهات ومسارات الأبحاث تعتبر جوهرية، والباحثون يبذلون بالفعل جهودهم فى مجال التركيبات الكيميائية والهندسية الجزيئية والمجالات العلمية المرتبطة بهما. ونفس هذا القدر من الجهد يمكن أن يُثمر نتائج مثيرة جداً فى التكنولوجيا النانوية الجزيئية لو أمكن توجيه جزء منها توجيهاً مختلفًا. لأن ممولى الأبحاث – أى المديرين التنفيذيين للشركات وصانعى القرار فى وكالات تمويل الأبحاث العلمية مثل المؤسسة الوطنية للعلوم فى الولايات المتحدة ووزارة التجارة الدولية والصناعة اليابانية – لهم تأثير كبير على اتجاهات الأبحاث، ولكن هذا أيضًا ما يفعله الباحثون العاملون فى المختبرات. إنهم يقدمون اقتراحات إلى الممولين المحتملين (وغالبًا ما يقضون بعض الوقت فى مشروعات خاصة بهم يختارونها بأنفسهم، بغض

النظر عن التمويل من عدمه)، ومن ثم فإن أفكارهم تشكل ما يحدث. وعندما يكون مال التمويل مالا عاما، يمكن أن يكون لتصورات السياسيين فى القضايا العامة تأثير كبير، وعمومًا، فإنَّ الرأى العام يعتمد على كل ما نفكر فيه ونقوله جميعًا.

ما زال الباحثون يلعبون دورًا جوهريًا. فهم يميلون للعمل فيما يرونه ممكنًا، ويعتمد ذلك على الأدوات التى يستخدمونها، أو - فى حالة الباحثين الخلاقين والمبدعين - على الأدوات التى يبحثون فى كيفية صنعها. إن أدواتنا تُشَكِّل تفكيرنا، وكما يقول المثل "عندما تكون لديك مطرقة فقط، فكل شىء سيبدو لك مسمارًا؟. الأدوات الجديدة تشجِّع وتفتح الباب لأفكار مبتكرة وتجعل إنجازات مستحدثة ممكنة عمليًا. وسوف تلاحق القرارات بشأن تطور الأدوات أو تساير تطورات التكنولوجيا النانوية. ولفهم التحديات التى تنتظرنا، علينا أن نعيد النظر فى الأفكار بالأدوات التى سوف نحتاج إليها.

• ما سبب الأهمية الكبرى للعدد والأدوات؟

طوال عصور التاريخ، كانت العدد والأدوات المحدودة تحقق إنجازات محدودة. فمثلا كانت وسيلة الإدارة بسلسلة وكراسى التحميل ذات الكريات، التى اخترعها "ليوناردو دافنشى" فى القرن السادس عشر، سليمة من الوجهة النظرية، لكنها لم تتحقق قط فى حياة مخترعها. والحاسوب الميكانيكى الذى اخترعه "تشارلس باجاج" فى القرن التاسع عشر لاقى نفس هذا المصير. إذن ما المشكلة؟.. كلا هذين المخترعين احتاجا إلى أجزاء معينة مُصنَّعة بدِقّة (رغم أنها أصبحت متاحة حاليا) كانت كلية خارج نطاق تكنولوجيات التصنيع فى أزمانهم. ويرى الفيزيائى "دافيد ميلر" أن مشروع تصميم دائرة متكاملة متطورة بشركة (TRW)[1] لاقى قيودًا مماثلة فى أوائل

---

(١) (تى آر دبليو) شركة أمريكية تشارك فى مجموعة متنوعة من الشركات، وبصفة أساسية الطيران والسيارات وكانت رائدة فى مجالات متعددة بما فى ذلك المكونات الإلكترونية والدوائر المتكاملة وأجهزة الحاسوب والبرمجيات وهندسة المنظومات. (المترجم)

ثمانينيات القرن العشرين، حيث قال: "انتهى الأمر إلى ما إذا كانت الشركة الألمانية ستبرِّد زجاج عدساتها بما يكفى لإعطائنا الدقة التى نحتاج إليها أم لا.. بيد أنه لم يمكنهم تحقيق هذا الأمر".

فى عالم الجزيئات، تتطور المعدات والأدوات بمعدل بالغ السرعة، ويمكن للمعدات والأدوات الجديدة إحداث إنجازات علمية هائلة. مثلا لاحظ "مارك بيروس"، مدير قسم البيولوجيا الجزيئية بشركة (دوبونت)، حدوث ذلك وقال: "عندما كنت طالبًا بالدراسات العليا قديمًا فى خمسينيات القرن العشرين، كانت هناك مشكلة مستمرة منذ وقت طويل هى تحديد التركيب الجزيئى لبروتين واحد. وكنا نقول وقتئذ "بروتين واحد يعنى عمرًا كاملاً فى البحث العلمى". غير أن الوقت الآن انكمش من عمر كامل إلى عشر سنوات إلى ستة.. وفى أفضل الحالات إلى بضعة شهور".

إنَّ تركيبات البروتينات يمكن رسمها ذرة بذرة بدراسة انعكاسات الأشعة السينية (أشعة إكس) من طبقات ببلورات البروتين. ولاحظ بيرسون "أن تمييز البروتين كان مسيرة تستغرق عمر المرء المهنى بطوله، ويرجع ذلك جزئيًا إلى أنه كان من الصعب العثور على بلورات، كما أن الحصول على المادة المطلوبة كان مشكلة كأداء. ولكن مع ظهور تكنولوجيات جديدة، يمكننا وضع يدنا على تلك المادة فورًا.. ولعل ذلك يبدو شيئًا عاديًا أو بسيطًا، لكنه فى الحقيقة تقدم كبير. وبالنسبة إلى الناس الذين يعملون فى هذا المجال، فإن ذلك يعنى كل الفارق فى العالم"، إنَّ المعدات والأدوات المتطورة لصنع البروتينات ودراستها لها أهمية خاصة، لأن البروتينات وحدات بناء واعدة لأول جيل من الأجهزة الجزيئية.

• ولكن ألا يهتم العلم بالاكتشافات وليس بالمعدات والأدوات؟

جوائز نوبل تُمنَح عادة للاكتشافات، وليس للعدد والأدوات (بما فيها أجهزة تكنولوجيات القياس)، التى أدت إلى إنجازها. إذا كان هدف تلك الجوائز حفز التقدم

العلمى، فهذا شيء مُخز. هذا النمط من الجوائز يُغطى كل مجالات العلم، مما يؤدى إلى نقص مزمن فى استثمارات تطوير عدد وأدوات جديدة. ويُشير "فيليب آبلسون"، وهو محرر بمجلة (العلم)، إلى أن الولايات المتحدة تُعانى من "عجز فى تطوير أدوات وأجهزة قياس جديدة. فى وقت من الأوقات، كنا نحتكر التطورات الرائدة فى أجهزة القياس، لكن الآن لا يوجد عمليًا أى تمويلات فيدرالية متاحة للجامعات لهذا الغرض". بالطبع من الأسهل والأقل خطورة أن نحصل على معلومة واحدة أو أكثر من أداة معلوماتية موجودة بالفعل بدلا من قيادة مسيرة التطور بهدف التوصل إلى أداة جديدة، كما أن ذلك أقل خيالا وابتكارًا.

على أى حال تظهر عدد وأدوات جديدة دائمًا، وغالبًا من مصادر فى مجالات أخرى. مثلا دراسة بلورات البروتينات يمكن أن تستفيد من أنوا ع جديدة من أشعة إكس يتوصل إليها الفيزيائيون، والتكنولوجيات السائدة فى الكيمياء يمكنها أيضًا المساعدة فى صنع بروتينات جديدة. ولأن العلماء والمهندسين لا يتوقعون ظهور عدد وأدوات من ابتكارات فى مجالات علمية أخرى، فإنهم عادة يكونون متشائمين جدًا عما يمكن إنجازه فى مجالاتهم ذاتها. وسوف تنضم التكنولوجيا النانوية إلى مجالات كثيرة وتُفرز أدوات مفيدة فى مجالات أخرى عديدة.. وعلينا أن نتوقع عندئذ نتائج مدهشة.

• ما الأدوات التى تقوم بأبحاث لصنع أجهزة صغيرة؟

يوجد حاليًا نوعان من الأدوات المستخدمة فى صنع جسيمات أو أجهزة صغيرة، هما أدوات معالجة الجزيئات وأدوات معالجة الأجسام الكبيرة. وطوال عشرات السنين دأب الكيميائيون وعلماء البيولوجيا الجزيئية على استخدام أدوات معالجة أفضل للجزيئات بهدف صنع ومعالجة كيانات جزيئية دقيقة. وهذه الأدوات لها استخدام واضح. والفيزيائيون – كما سنعرف – قد طوروا مؤخرًا أدوات يمكنها معالجة

الجزيئات. وأدوات الفيزيائيين هذه، جنبًا إلى جنب مع تكنولوجيات الكيمياء وعلم البيولوجيا الجزيئية، تبشر بإحراز تقدم كبير.

استخدام علماء التكنولوجيا مجهرية تقانات صنع الرقاقات لإنتاج أجهزة مجهرية. وهذه التكنولوجيات - وهى المدخل الرئيسى للتصغير (الفائق) فى العقود الأخيرة - يمكن أن تلعب على الأكثر دورًا فى تطوير التكنولوجيا النانوية. وعلى الرغم من مظهر التكنولوجيا المايكروية، فإنه يبدو أنها لا يمكن تعديلها إلى التكنولوجيا النانوية.

• ولكن أليست التكنولوجيا النانوية عبارة عن تكنولوجيا مجهرية فائقة الصغر؟

لسنوات طويلة، كان المألوف هو افتراض أن الطريق لصنع أجهزة صغيرة جداً أفضى إلى صنع أجهزة أصغر فأصغر، أى الاتجاه أو العمل من أعلى إلى أسفل. وخلال هذا المسار يُقاس التقدم بدرجة التصغير المُنجز، أى "ما أصغر ترانزستور يمكننا صنعه؟".. أو "ما مدى صِغَر المحرك الكهربائى؟".. أو "ما أرفع خط يمكننا رسمه على سطح بلورة؟". إنَّ التصغير يركز على مقياس أثمر جديًا وتغلغل فى صناعات تتراوح من صناعة الساعات إلى الإلكترونات المجهرية.

استخدم باحثون من مختبرات (AT&T Bell)[٢] وبجامعة كاليفورنيا، بيركلى، ومختبرات أخرى بالولايات المتحدة التشغيل المجهرى (المعتمد على استخدام تكنولوجيات إلكترونية مجهرية) لصنع تروس وحتى محركات كهربائية فائقة الصغر. كذلك يُستخدم التشغيل المجهرى بنجاح فى اليابان وألمانيا. إلا أن هذه التروس والمحركات المجهرية - وهى هائلة الحجم للغاية بمعايير التكنولوجيا النانوية - هى أجهزة نمطية تُقاس بعشرات الميكرومترات[٣]، أى إنها أكبر ببلايين المرات بالمقارنة

---

(٢) شركة أمريكية متعددة الجنسيات للاتصالات. (المترجم)

(٣) وحدة طول تساوى جزءا من ألف من مليمتر أو جزءا من مليون من المتر. (المترجم)

بالتروس والمحركات النانوية. (فى محاكاتنا لعالم الجزيئات، حجم بلدة صغيرة يساوى ١٠ ميكرونات). وبأخذ الحجم فى الاعتبار، فإنّ الخلط بين التكنولوجيا المجهرية والتكنولوجيا النانوية الجزيئية يشبه الخلط بين الفيل والخنفساء الصغيرة.

بيد أن الفروق بينهما أعمق من ذلك. التكنولوجيا المجهرية تضع ذرات على أسطح ثم تنزعها مرة أخرى بالجملة، بدون اهتمام بمصير أى ذرة منها، كما أن أساليبها بسيطة وبدائية. وأما التكنولوجيا النانوية بالمقارنة، فإنها تضع كل ذرة بعناية. وفى ذلك يقول "بيل ديجرادو"، كيميائى متخصص فى البروتينات بشركة (دوبونت)، "قلب أو أساس التكنولوجيا النانوية هو أن الناس عملوا لسنوات فى صنع أشياء صغيرة فأصغر حتى كدنا نقترب من المقاسات الجزيئية.. وعند هذه النقطة، لا يستطيع المرء صنع أشياء أصغر، إلا بالبدء بالجزيئات ثم تجميعها لصنع كيانات أكبر". والفرق هنا جوهرى، ففى التكنولوجيا المجهرية، نجد أن التحدى هو صنع أجسام أصغر، أما فى التكنولوجيا النانوية، فالتحدى هو صنع أجسام أكبر.. ويمكننا بالفعل صنع جزيئات صغيرة.

(تحذير لغوى: فى السنوات الأخيرة، تم التعبير عن التكنولوجيا النانوية على أساس أنها " تكنولوجيا مجهرية صغيرة للغاية". ومن واقع هذا الاستخدام، فإن الإجابة عن السؤال هى بالطبع "نعم". ولكن هذا الاستخدام لكلمتين جديدتين لتوسيع نطاق صلاحية تكنولوجيا قديمة سوف يتسبب فى خلط هائل، خصوصًا فى ضوء الاستخدام الواسع للتكنولوجيا النانوية بالمعنى الوارد هنا. مثلا الطباعة الحجرية النانوية والإلكترونيات النانوية والمركبات النانوية والتصنيع النانوى.. كل هذه ليست "نانو" أو خاصة بالجزيئات أو مناسبة للموضوعات التى يتناولها هذا الكتاب. والتعبيران (التكنولوجيا النانوية الجزيئية) و(التصنيع الجزيئى) مربكان كثيرًا، لكننا سنتجاوز هذا الإرباك فى الوقت الحالى).

• هل تُفضى التكنولوجيا المجهرية إلى التكنولوجيا النانوية ؟

هل يمكن استخدام الجرافات لصنع ساعات المعصم؟ على الأكثر، تلك الآلات يمكن استخدامها لبناء مصانع يتم فيها صنع تلك الساعات. وعلى الرغم من أنه يمكن أن تكون هناك مفاجآت، فإن ملاءمة التكنولوجيا المجهرية للتكنولوجيا النانوية الجزيئية يبدو مماثلا. وبدلا من ذلك، فإن أسلوب العمل من أسفل إلى أعلى ضرورى لتحقيق الأهداف الهندسية فى النطاق الجزيئى.

• ما الأدوات الرئيسية المستخدمة فى الهندسة الجزيئية ؟

تقريبًا من تعريفها، فإنَّ المسار إلى التكنولوجيا النانوية الجزيئية: " يجب أن يمر من خلال الهندسة الجزيئية. والباحثون الذين يعملون فى مجالات علمية متباينة وتدفعهم أهداف مختلفة، يحرزون تقدمًا فى هذا المجال. الكيميائيون يطورون تكنولوجيات قادرة على صنع كيانات جزيئية دقيقة بأشكال لم يرها أحد من قبل. والكيميائيون الحيويون يتعلمون كيف يصنعون كيانات من أنواع مختلفة، مثل البروتينات، ثم يستخدمونها لصنع أجسام جزيئية جديدة.

بشكل واضح، فإنَّ أكثر الأدوات التى يستخدمها الكيميائيون والكيميائيون الحيويون غير مثيرة إلى حد ما. إنهم يعملون على أسطح طاولات بمختبراتهم، ممتلئة بأطباق وزجاجات وأنابيب وما شابه ذلك.. ويخلطون ويقلبون ويسخنون ويصبون السوائل. وبالنسبة إلى الكيميائيين الحيويين يكون هذا السائل عادة هو ماء به أثر من مادة مذابة فيه. ومن وقت إلى آخر يُصَّب القليل من سائل فى جهاز أكبر لا تلبث أن تخرج منها قصاصة ورقية مرسومة عليها شكل بيانى معيَّن. وكما يتوقع المرء من هذا الوصف، فإن البحث فى العلوم الجزيئية يكون عادة أقل تكلفة من البحث فى فيزياء الجسيمات عالية الطاقة (بمسارعاتها التى تتكلف عشرات البلايين من الدولارات) أو

أبحاث الفضاء (التى تتكلف مركباتها الفضائية عشرات البلايين من الدولارات). والكيمياء كانت تسمَّى من وقت طويل "علم صغير"، وليس ذلك بالطبع بسبب حجم الجزيئات التى تتعامل معها.

الكيميائيون والكيميائيون الحيويون يطورون مجالات عملهم أساسًا بصنع جزيئات جديدة يستخدمونها كأدوات تساعدهم فى بناء أو دراسة جزيئات أخرى. وتأتى تطورات أخرى من ابتكار أدوات قياس جديدة وطرق مستحدثة لفحص الجزيئات وتحديد تركيبها وسلوكها الكيميائى. إلا أن تطورات أكثر تأتى من استخدام أدوات برامجية جديدة وتقانات حاسوبية للتنبؤ بكيفية سلوك أى جزىء ذى تركيب معيَّن. والكثير من تلك الأدوات البرامجية يتيح للباحثين التحديق فى شاشة أمامهم لرؤية محاكاة عوالم الجزيئات، على نحو يشابه كثيرًا ما رأيناه، أثناء رحلاتنا التى قمنا بها فى الفصلين الأخيرين السابقين.

من بين تلك المجالات، نجد أن علم الجزيئات الحيوية هو الذى يطوِّر بوضوح أكثر أدوات يمكن أن تساعد فى بناء التكنولوجيا النانوية، لأن الجزيئات الحيوية تكوِّن بالفعل أجهزة جزيئية تشمل أدوات تشبه مُجَمَّعات بسيطة. هذا المسار هو الأسهل تصورًا، ومن المؤكد أنه ناجح، غير أنه لا يوجد أى ضمان على أنه سيكون الأسرع، إذ قد تفوز مجموعات بحثية تتبع أى مسار آخر. وكل واحد من هذه المسارات يتم تتبعه حاليًا فى جميع أرجاء العالم، وكل منها يحرز تقدمًا متسارعًا.

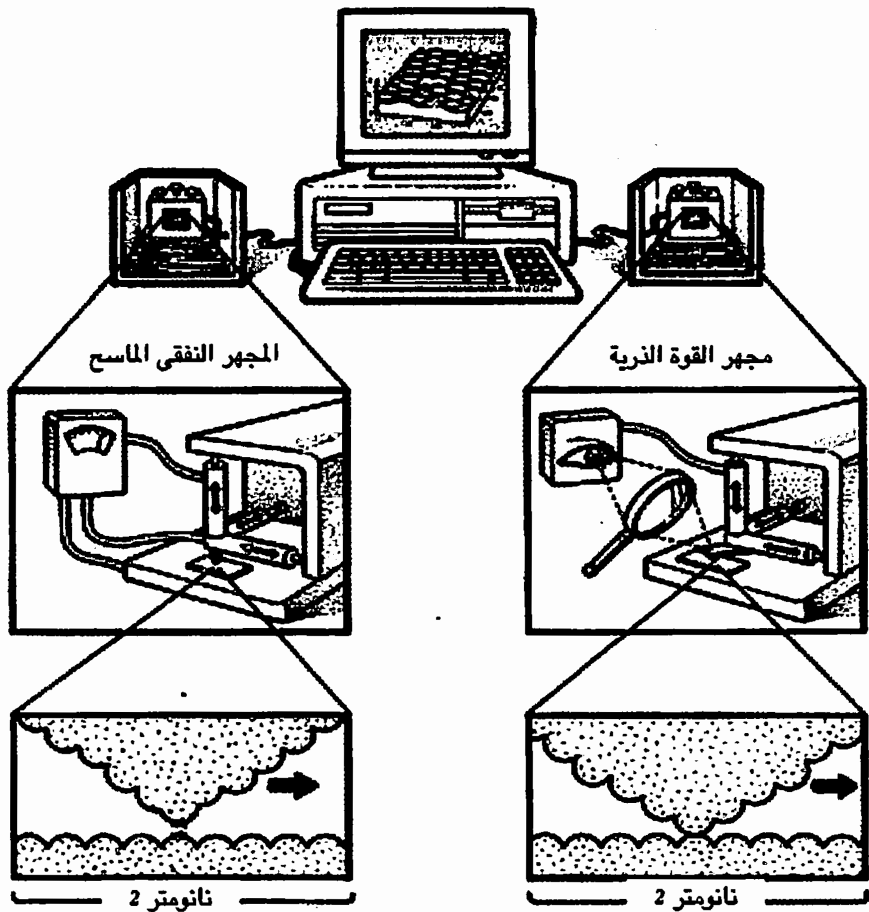
تمكن الفيزيائيون مؤخرًا من اكتشاف أدوات جديدة واعدة فى مجال الهندسة الجزيئية. هذه الأدوات هى "المجسات التقاربية" وتشمل المجهر النفقى الماسح (STM) ومجهر القوة الذرية (AFM). والمجس التقاربى يضع طرفه الحاد قريبًا جدًا من السطح المطلوب معاينته ويستخدمه لفحص (وأحيانًا تعديل) السطح وأى جزيئات قد تكون ملتصقة به.

• **كيف يعمل المجهَر النفقى الماسح (STM) ؟**

يضع المجهر النفقى الماسح إبرته الحادة المُوَصلة للكهرباء على سطح مُوَصِلٍ كهربائيًا بحيث تكاد تلامسه. تتصل الإبرة والسطح كهربائيًا (انظر الجزء الأيسر من الشكل ٤)، بحيث يسرى تيار كهربائى عند تلامسهما، مثلما يحدث عند قفل مفتاح بدائرة كهربائية. لكن ما النقطة التى "تتلامس" عندها الذرات الرخوة المشوشة؟ لقد اتضح أن تيارًا يمكن قياسه يسرى فقط عندما تتلامس ذرتان بشكل ضعيف، إحداهما بالسطح والأخرى بالإبرة المدببة للجهاز (الكيانات غير محددة المعالم نادرًا ما تتداخل فى بعضها البعض). وبتحريك الإبرة بدقة فوق السطح المطلوب رسمه، مع الحفاظ على انطلاق تيار كهربائى بمعدل ثابت بينهما، يتمكن المجهر النفقى الماسح من تشكيل رسم لسطح ما بدقة فائقة. والواقع أنه للحفاظ على تيار ثابت لابد من تحريك الإبرة إلى أعلى وأسفل، وهى تمر على الذرات المنفردة.

اخترع المجهر النفقى "جيرد بينينج" و"هنريش رورر" وهما فيزيائيان باحثان يدرسان ظواهر الأسطح بمعامل أبحاث شركة (IBM) بزيورخ، سويسرا. فبعد عملها طوال فترة سبعينيات القرن العشرين، قدَّم رورر وبينينج أول طلب للحصول على براءة اختراع لهما بشأن المجهر النفقى الماسح فى منتصف عام ١٩٧٩ . وفى عام ١٩٨٢ قدما صورًا لسطح سليكونى يبيِّن ذرات منفردة به. ومن سخرية القدر أن أهمية عملهما لم يتم تقديرها بسرعة، إذ تم رفض أول بحث علمى لرورر وبينينج عن جهازهما الجديد، ولم يتم نشره على أساس أنه "لا يستحق الاهتمام". واليوم تجتذب مؤتمرات المجهر النفقى الماسح مئات الباحثين المهتمين بالأمر من مختلف بلدان العالم.

وفى عام ١٩٨٦ – لاحظ كيف تتقدم تلك الأشياء بسرعة – تم منح رورر وبينينج جائزة نوبل. وشرحت الأكاديمية السويدية أسباب قرارها كما يلى: "المجهر النفقى الماسح شىء جديد تمامًا، ونحن لم نر حتى الآن سوى بداية تطويره. ومع ذلك، فمن الواضح أن هناك مجالات جديدة تفتح أبوابها لدراسة المادة".



(شكل ٤) – مجهر القوة الذرية / المجهر النفقى الماسح

المجهر النفقى الماسح (إلى اليسار) يصور الأسطح بدقة كافية لرؤية الذرات المنفردة، وهو يمسح محيط السطح بمراقبة التيّار الكهربائى الذى يقفز عبر الثغرة بين طرف إبرته والسطح. ومجهر القوة الذرية (إلى اليمين) يمسح محيط السطح بالتلامس الميكانيكى، حيث يسحب إبرته عبر السطح ويسجِّل بصريًا حركتها وهى تمر على نتوءات الذرات المنفردة.

والأجهزة الماسحة النفقية لم تعد غريبة الآن، فشركة الأجهزة الرقمية بسانت بربارا، كاليفورنيا، تبيع تلك الأجهزة (تحت العلامة التجارية NANOSCOPEr) بالبريد مع ضمان الرؤية الواضحة للذرات المنفردة أو استعادة ثمن الجهاز. وخلال ثلاث سنوات من طرحها تجارياً، تم شراء المئات من الأجهزة النفقية الماسحة.

• كيف يعمل مجهر القوة الذرية؟

مجهر القوة الذرية (المبين على يمين شكل ٤) فكرته أبسط من الجهاز النفقى الماسح. إذ يحرِّك الجهاز مجسه الحاد عبر السطح ويضغطه برقة عليه بواسطة ياى مستقيم. ويحس الجهاز بحركات الياى (بصرياً عادة)، ويتحرك الياى إلى أعلى وإلى أسفل، أثناء جر طرف الجهاز على أى ذرات بالسطح المراد تصويره. و"يحس" الطرف بالسطح مثلما يحس طرف الأصبع فى محاكاة عالم الجزيئات. وتم اختراع مجهر القوة الذرية بمعرفة كل من

"بينينج" و "كويت" و"جربير" من جامعة ستانفورد ومعامل سان جوز بشركة (IBM) فى عام ١٩٨٥ . وبعد نجاح المجهر النفقى الماسح، تم على الفور الاعتراف بأهمية مجهر القوة الذرية. ومن ضمن مزاياه الأخرى، أنه يعمل بمواد غير موصلة للكهرباء. ويشرح الفصل التالى كيف يمكن استخدام أجهزة تعتمد على مجهر القوة الذرية للتعامل مع الجزيئات، أثناء تطوير التكنولوجيا النانوية الجزيئية. وأثناء كتابة هذا الكتاب، أصبحت مجاهر القوة الذرية متوفرة تجارياً فى كل مكان.

(لاحظ عزيزى القارئ أن المجاهر النفقية الماسحة ومجاهر القوة الذرية ليست سهلة الاستخدام، كما قد توحى الأوصاف السابقة لها. فمثلا الطرف المعيب للمجهر أو السطح الذى فيه خلل والمطلوب تصويره يمكن أن يمنع الكشف الدقيق للتفاصيل الذرية، كما أن الدق على الطاولة التى عليها المجهر غير مسموح به أثناء تشغيل المجهر. وعلاوة على ذلك، فإن العلماء يجدون صعوبة فى تحديد ما يتراءى لهم فيه، حتى لو كانت الصورة واضحة بدرجة كبيرة).

• هل يمكن للمجسات التقاربية أن تحرِّك الذرات؟

بالنسبة إلى هؤلاء الذين يبحثون فى التكنولوجيا النانوية أو يعملون بها، بدت المجاهر النفقية الماسحة على الفور مشجِّعة وواعدة، ليس فقط لقدرتها على رؤية الذرات والجزيئات، ولكن أيضًا لقدرتها على التعامل معها والتحكم فيها. وسرعان ما انتشرت هذه الفكرة بين الفيزيائيين. ويقول "كالفين كويت" فى مجلة (الفيزياء اليوم) فى عام ١٩٨٦: "ثمة اعتقاد أن المجهر النفقى الماسح سوف يتطور، وأنه فى يوم ما سوف يُستخدم لكتابة وقراءة أشكال لها أحجام الجزيئات". وقد تم اقتراح هذا المنطلق كمسار للتكنولوجيا النانوية الجزيئية فى كتاب (محركات الخلق) أيضًا فى عام ١٩٨٦.

حتى الآن تؤكِّد مئات من الأبحاث العلمية استخدام أطراف أو إبر المجاهر النفقية الماسحة ومجاهر القوة الذرية لخدش وصهر ونحت وحفر أسطح المواد وغير ذلك من العمليات، فى حدود النطاق النانومترى. وهذه العمليات تُحرِّك الذرات من مكان إلى آخر، ولكن مع تحكم بسيط فى ذلك. إنها تعنى عمليات كبيرة تتم فى نطاق فائق الصِغَر.. مثلا خدش واحد بسيط يبلغ عرضه بضع عشرات من الذرات فقط.. بدلا من التعامل مع بلايين الذرات الناجم عن عمليات الصقل التقليدية.

• هل للمجسات التقاربية أن تحرِّك الذرات بدقة أكثر؟

فى عام ١٩٨٧ أعلن كل من "ر.س. بيكر" و"ج.أ. جلفشنكو" و"ب.س. سوارتزنتروبر" بمعامل شركة (AT&T Bell) أنهم استخدموا المجهر النفقى الماسح فى ترسيب بقع صغيرة على سطح من الجرمانيوم[٤]. وكان المعتقد أن كل بقعة منها تتكون من واحدة أو أكثر من ذرات الجرمانيوم. وبعد ذلك بقليل، حقق "جون فوستر" و"جين فرومر" و"باتريك أرنيت" وهم من الباحثين بشركة (IBM) إنجازًا علميا فى كيفية التعامل مع الجزيئات بواسطة المجهر النفقى الماسح. ومن هذا الفريق العلمى، حضر فوستر

وأرنيت أول مؤتمر بفورسايت بخصوص التكنولوجيا النانوية، حيث أخبرونا عن الدوافع وراء عملهم هذا.

التحق فوستر بشركة (IBM) بعد أن أكمل رسالة دكتوراه فى الفيزياء من جامعة ستانفورد، ودرس بكلية الدراسات العليا. وكان العمل الذى تم بواسطة المجهر النفقى الماسح أحد مشروعاته الأولى فى عالم الشركات. وهو يصف زميله أرنيت، باعتباره "أحد الفرسان الأوائل لأشباه الموصلات" الذين أسهموا فى خلق الرقاقات بموقعىّ (بيرلينجتون) و (يوركتاون) بشركة (IBM). وعلاوة على ذلك، فقد ضمَّن أرنيت جهوده، أثناء حصوله على درجة الدكتوراه، تدريباً هندسياً فى مجال الميكانيكا.

يشرح أرنيت ما كانوا يفعلونه قائلا: "أردنا أن نرى ما إذا كان بإمكانك أن تفعل شيئًا ما فى النطاق الذرى، وأن نبتكر آلية لتخزين المعلومات، ثم استعادتها بكفاءة". كانت الإجابة "نعم". ففى يناير ١٩٨٨ نقلت مجلة "الطبيعة"Nature أخبار نجاحهم فى تثبيت جزىء عُضوى فى مكان محدَّد بأحد الأسطح، وذلك باستخدام المجهر النفقى الماسح، لتشكيل رابطة كيميائية بإطلاق نبضة كهربائية من طرف إبرة المجهر الماسح. ووجدوا أنه بابتكار هذه العملية ورصدها، يمكنهم العودة لاستخدام نبضة كهربائية أخرى من طرف المجهر لتغيير العملية التى تمت قبلا من جديد، مثلا بتكبيرها أو محوها جزئيًا أو إزالتها تماماً.

ويسرعة أدركت شركة (IBM) فائدة تجارية لذلك، كما شرح "بول م. هورن" نائب مدير العلوم الفيزيائية بمركز "توماس ج. واتسون" للأبحاث، بقوله: "يعنى هذا أنك يمكنك خلق عنصر تخزين بحجم الذرة. وأخيراً، يمكن أن تقضى القدرة على عمل ذلك

---

(٤) *Germanium* عنصر فلزى نادر يستعمل شبه موصل. (المترجم)

إلى تخزين المعلومات بما يصل إلى عشرة بلايين مرة قدر ما يتم تخزينه بأى طريقة أخرى نعرفها حتى وقتنا هذا". وطرح باحث آخر، هو "ج. ب. بذيكا"، رؤية أوسع فى عدد من مجلة "الطبيعة" التى نُشر فيها هذا الإنجاز العلمى بقوله: "المحو الجزئى الذى أعلنه فوستر وآخرون يعنى أن الجزيئات يمكن أن تجد أجزاء منها قد أزيلت عمداً، وأن يتم أساساً تعديلها أو "كتابتها" ذرياً، ومن ثم تتحقق واحدة من مثاليات التكنولوجيا النانوية؟"

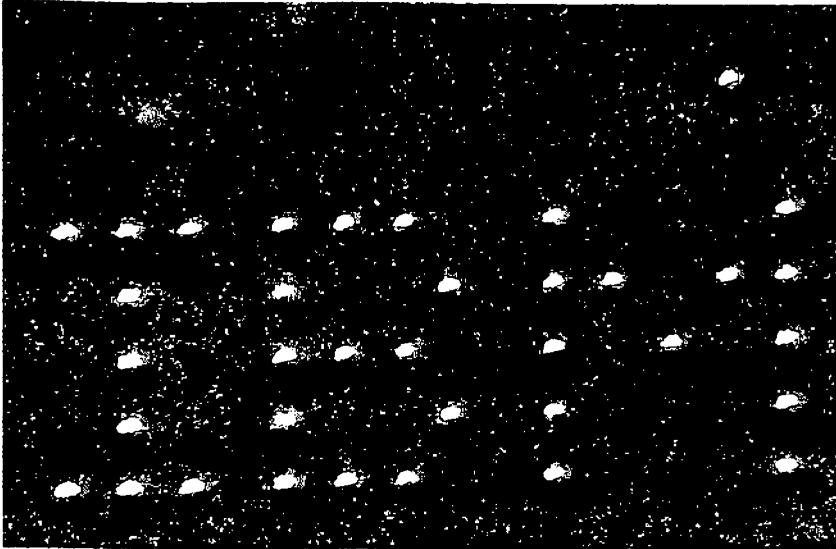
• هل للمجسات التقاريبية أن تحرّك الذرات بدقة تامة ؟

نجحت مجموعة فوستر فى تثبيت جزيئات منفردة بأحد أسطح المادة، لكنها لم تستطع التحكم تماماً فى النتيجة، أى فى وضع الجزيئات وتوجيهها، بدقة متناهية. وفى أبريل عام ١٩٩٠، قامت مجموعة أخرى من نفس المختبر بمعالجة ذرات إلى مدى أبعد مما أثار دعاية عالمية كبرى. والمؤكد أن القصة كان من الصعب مقاومتها: فقد تحققت بواسطة صورة رسمها المجهر النفقى الماسح لاسم الشركة (IBM) مكتوبا بالأحرف بواسطة ٣٥ ذرة موضوعة فى أماكنها بدقة تامة (انظر الشكل ٥). والدقة هنا كاملة، مثل دقة التجميع الجزيئى، فكل ذرة تقبع فى نُقرة على سطح بلورة نيكل، وهى تقبع فى نقرة ما أو أخرى، لكنها لا توجد أبدا فى أى مكان وسط بينهما.

ويصف "دونالد إيجلر"، رئيس تحرير مجلة (الطبيعة) هذا العمل، وهو يرى بوضوح إلى أين يقودنا ذلك كله: "لعشرات السنين دأبت صناعة الإلكترونيات على مواجهة تحدى كيفية تشييد تركيبات أصغر فأصغر.. وبالنسبة إلى من يستخدم من بيننا الآن الذرات المنفردة كوحدات بناء لتلك التركيبات، فإنَّ التحدى سوف يكون كيف يمكننا بناء تلك التركيبات بوضع ذرة بعد أخرى".

• إلى أين يمكن للمجسات التقاربية أن تأخذنا ؟

المجسات التقاربية لها مزايا كأداة لتطوير التكنولوجيا النانوية، ولكن لها أيضًا عيوبا ونقاط ضعف. واليوم أطرافها خشنة وغير منتظمة، وفي الحقيقة هي أكثر خشونة مما يتضح من الشكل (٥). ولتشكيل روابط قوية وثابتة، استخدمت مجموعة فوستر نبضة كهربائية، بيد أن النتائج أظهرت أن التحكم لم يكن كافيًا وأنه من الصعب تحقيقه. وكلمة (IBM) التي كتبتها بالأحرف مجموعة فوستر كانت دقيقة، ولكنها لا تكون ثابتة إلا في درجات حرارة تقترب من الصفر المطلق، إذ تختفي تلك النماذج في درجة حرارة الغرفة، لأنها ليست قائمة على روابط كيميائية مستقرة. والحقيقة أن بناء تركيبات تجمع بين خاصتيّ الاستقرار والدقة ما زال يواجه تحديات كبيرة في الوقت الحاضر. وبعبارة أخرى، فإن إنشاء تركيبات مستقرة ودقيقة هو التحدي الأكبر التالي أمامنا.



الشكل (٥) - أصغر رمز لعلاقة تجارية في العالم - عبارة عن ٣٥ ذرة من "الزينون"[٥]

(٥) *Xenon* عنصر غازي عديم اللون والرائحة خامل جدا، يوجد بكميات قليلة في الجو، ويستخرج لأغراض تجارية من الهواء السائل. (المترجم)

يقول "جون فوستر": "إننا نستكشف فكرة نسميها "تجميع الجزيئات" باستخدام مجهر نفقى ماسح " لضم أو تجميع" الجزيئات بنفس الطريقة التى يقوم بها كلب "شتلاند" لرعى وتجميع الغنم. إنَّ هدفنا النهائىّ من تجميع الجزيئات هو تحريك جزىء واحد معيَّن من مكانه إلى مكان آخر محدَّد، ثم نتمكن أساسًا من إجباره على العودة إلى مكانه الأول. فإذا أمكنك وضع جزيئين يشكلان جزءين صغيرين من جهاز نانوى على السطح، فإنَّ هذا النوع من التجميع سوف يتيح لك تفاعلاً كيميائيًا معيَّنًا بأسلوب القفل والمفتاح لإعطائك ما تحتاج إليه بالضبط لضم جزيئين مع بعضهما البعض (مثلما يحدث فى أساليب الكيمياء والكيمياء الحيوية)، فبمقدورك حث هذا التفاعل فى نطاق موضعىّ باستخدام مجهر القوة الذرية. نعم، يمكنك استخدام مجهر القوة الذرية لوضع الأشياء فى المكان الذى تريد وضعها فيه". ويشرح الفصل التالى أفكارًا إضافية لاستخدام المجسات التقاربية فى المراحل الأولى من التكنولوجيا النانوية.

قد تشكُّل أدوات وأجهزة المجسات التقاربية أكبر مساعدة فى بناء الجيل الأول من الأجهزة النانوية، غير أن لها قيدًا رئيسيًا، إذ إن كل أداة أو جهاز منها كبير الحجم بالنسبة للمقاسات الجزيئية، كما أن كلاً منها يمكنه أن يربط فقط جسيم مكوَّن من جزىء واحد فى المرة الواحدة. ولصنع أى شىء أكبر من ذلك – مثلا، شىء كبير بحيث يمكن رؤيته بالعين المُجرَّدة – سوف يحتاج إلى وقت كبير للغاية. وجهاز من هذا النوع يمكنه إضافة قطعة واحدة كل ثانية، غير أنه حتى رأس الدبوس يحتوى على عدد من الذرات أكثر من عدد الثوانى التى مرت منذ نشأة كوكب الأرض. إنَّ إنشاء مكتبة جيب بهذه الطريقة سوف يتطلب مشروعًا طويل الأجل.

• كيف يتأتى لتلك المنظومات البطيئة أن تصنع أي شيء أكبر منها؟

الأرانب ونباتات الهندباء البريَّة تحتوى على تركيبات مُجَمَّعة مع بعضها البعض، قطعة جزيئية وراء أخرى، ومع ذلك، فإنها كائنات حية تنمو وتتكاثر بسرعة. كيف؟ إنها

تبنى نفسـها بالتوازى بواسطة بلايين الأجـهـزة الجزيئـيـة التى تعـمل على الفـور. وللحصول على مزايا مثل هذا التوازى الهائل، يمكن للباحثين إما استـخدام المجسات التقاربية لبناء جيل تال أفضل من التكنولوجيا، أو استخدام أسلوب مختلف أصلا من البداية.

إنَّ تقنيات الكيمياء والهندسة الجزيئية الحيوية لديها بالفعل تواز هائل قد شيدت بالفعل إنشاءات جزيئية دقيقة. ولكنها تتبع طرقًا أقل مباشرة من تلك التى تستخدمها أجهزة تثبيت الموضع (التى مازالت افتراضية)، والتى تعتمد على مجسات تقاربية. إنها تستخدم وحدات بناء جزيئية شُكلت لكىّ تتوافق مع بعضها فى عملية تجميع ذاتى.

ويطرح "ديفيد بيجلسن" وهو فيزيائى يعمل بالمجاهر النفقية الماسحة بمركز أبحاث (بالو ألتو) بشركة (زيروكس) الأمر بمؤتمر التكنولوجيا النانوية على النحو التالى: "من الواضح أن التجميع باستخدام المجاهر النفقية الماسحة والبدائل الأخرى سوف تتم تجربته. غير أنَّ المنظمات الحيوية دليل قائم على إمكان عمل التجميع والتجميع الذاتى. وأنا لا أرى سببا يدعو إلى ابتعاد المرء عن شىء موجود بالفعل".

• ما المزايا الرئيسية لوحدات البناء الجزيئية؟

توجد قاعدة تقنية كبيرة للتركيبات الجزيئية. والأدوات التى طورها أصلا الكيميائيون الحيويون والتقنيون الحيويون، لكى تتعامل مع الأجهزة الجزيئية الموجودة فى الطبيعة، يمكن إعادة توجيهها لصنع أجهزة جزيئية جديدة. والخبرات التى اكتسبها الكيميائيون منذ أكثر من قرن من التقدم المتواصل، سوف تكون جوهرية فى مجالى التصميم والتشييد الجزيئى. وكلا هذين المجالين يتعامل طبيعيًا مع بلايين الجزيئات ويشكلها فى أنماط معيَّنة بالتجميع الذاتى. والكيميائيون الحيويون بوجه خاص يمكنهم البدء فى نسخ التصميمات الجزيئية من الطبيعة.

يمكن أن تعمل إستراتيجيات وحدات البناء الجزيئية مع إستراتيجيات المجسات التقاربية، أو تحل محلها وتقفز مباشرة إلى إنشاء أعداد كبيرة من الأجهزة الجزيئية. وفى كلتا الحالتين، فالأرجح أنَّ جزيئات البروتينات تلعب دورًا جوهريًا، كما تفعل فى الطبيعة.

• كيف تصنع هندسة البروتينات أجهزة جزيئية ؟

يمكن للبروتينات أن تتجمع ذاتيًا وتصنع أجهزة جزيئية عاملة ومعدات وأدوات شيء ما، مثل قطع أو وصل بالجدل جزيئات أخرى أو جعل العضلات تنقبض. كما تتحد مع جزيئات أخرى لتكوين جسيمات أكبر مثل الريبوزومات[٦] (فى حجم الغسالة الكهربائية فى محاكاتنا السابقة). والريبوزومات – وهى أجهزة طبيعية ممكن برمجتها لصنع بروتينات – هى أقرب طريق تتبعه الطبيعة من المُجَمِّع الجزيئى. وتعكف صناعة الهندسة الوراثية أساسًا على أنشطة إعادة برمجة الأجهزة النانوية الطبيعية أو الريبوزومات، بهدف صنع بروتينات جديدة أو لصنع بروتينات مألوفة بتكلفة أقل. وتُسمى عملية تصميم بروتينات جديدة "هندسة صنع البروتينات". ونظرًا لأن الجزيئات الحيوية تصنع بالفعل تلك الأدوات المركبة، فمن السهل أن نرى أنَّ الهندسة المتقدمة لصنع البروتينات يمكن استخدامها لبناء أول جيل من الأجهزة النانوية.

• إذا كان بمقدورنا صنع البروتينات، فلماذا لا نصنع أجهزة جزيئية متقنة ؟

صُنع البروتينات أسهل من تصميمها. وقد بدأ كيميائيو البروتينات بدراسة البروتينات الموجودة فى الطبيعة، غير أنهم لم يتحركوا إلا مؤخرًا تجاه حل مشكلة هندسة بروتينات جديدة. وتُسمى تلك بروتينات مستحدثة أى جديدة تمامًا، أى إنها

---

(٦) الريبوزيم، جسيم دائرى صغير مكون من الحمض النووى الرايبوزى وبروتين، وهو يوجد فى السيتوبلازم للخلايا الحية، ونشط فى تركيب البروتينات. (المترجم)

تصنع من لا شيء. وتصميم البروتينات صعب بسبب طريقة تركيبها أو تخليقها. ويقول "بيل ديجرادو"، كيميائى البروتينات بشركة (دوبونت): "هناك خاصية مميزة للبروتينات هى أن أنشتطها تعتمد على تركيبها المجسم (ثلاثى الأبعاد). وتتراوح تلك الأنشطة من التأثير الهرمونى إلى أداء وظيفة فى الهضم أو التمثيل الغذائى (الأيض). وأيا كانت وظيفتها، فمن الضرورى دائما أن يكون لها شكل أو تركيب محدد ثلاثىّ الأبعاد". ويتكون هذا التركيب ثلاثىّ الأبعاد عندما تنطوى سلسلة من الأحماض الأمينية لتكوين جسيم جزيئى مُدمج. ولكى نحس بمدى صعوبة التنبؤ بالطىّ الطبيعى لسلسلة البروتينات، تصوَّر قطعة مستقيمة من حبل مثبَّت به مئات المغناطيسات والعقد اللزجة على امتداد طوله. فى هذه الحالة، من السهل أن نصنعها ومن السهل أن نفهمها. والآن أمسكها وضعها فى قارورة زجاجية وهزها لوقت طويل. هل تستطيع أن تتنبأ بشكلها النهائى؟ بالقطع لا، إذ أنها تكون عندئذ عبارة عن كتلة متداخلة فى بعضها البعض. ويمكن للمرء أن يُسمى هذا الجهد التنبؤى "مشكلة طىّ الحبل اللزج"، ويُسمَّى الكيميائيون مشكلتهم هذه "مشكلة طىّ البروتين".

وعند توفر الظروف الصحيحة، تنطوى دائمًا سلسلة البروتينات إلى شكل واحد خاص، غير أن هذا الشكل من الصعب التنبؤ به من مجرد التركيب المستقيم. ولكن مصممى البروتينات يواجهون مهمة مختلفة هى أولاً تحديد الشكل النهائى المطلوب، ثم يتوصلون إلى الترتيب المستقيم الذى يتبعونه لعمل الشكل المطلوب. وبدون حل مشكلة طىّ البروتينات التقليدية، عليهم أن يبدأوا فى حل مشكلة تصميم البروتينات.

• ما الذى تم إنجازه حتى الآن؟

حقق "بيل ديجاردو" ورفاقه بشركة (دوبونت) واحدًا من أول النجاحات، ويقول بشأن ذلك: "لقد أصبحنا قادرين على استخدام المبادئ الأساسية لتصميم وبناء جزيء

بسيط ينطوى بالطريقة التى نريد أن يتخذها. وهذا فى الواقع، أول مثال حقيقى لتركيب بروتين مُصَمَّم من لاشىء بالمرة، ولا حتى بأخذ أى تركيب موجود فعلا ثم تعديله".

وعلى الرغم من أن العلماء يقومون بالعمل، فإن العمل نفسه هو فى الحقيقة أحد أشكال الهندسة، كان يتضح من عنوان مجلة هذا المجال العلمى "هندسة البروتينات". ووصف بيل ديجاردو للعملية يوضِّح أنَّ: "بعد أن تصنعه الخطوة التالية هى معرفة ما إذا كان بروتينك فعل ما توقعت منه أن يفعله أم لا.. هل انطوى؟.. هل مرَّر أيونات عبر غشاء ثنائى الجزىء (مثل غشاء الخلية)؟.. هل يقوم بوظيفة التحفيز الكيميائى (أى تسريع بعض التفاعلات الكيميائية)؟. ويتم اختبار كل هذا بإجراء التجارب المناسبة. والأكثر احتمالا أنه لن يكون فعل ما أردته أن يفعله، ومن ثم عليك أن تعرف لماذا. والآن على التصميم الجيد أن يتضمن خطة طارئة فى حالة الفشل وأن يساعدك على التعلم من أخطائك. وبدلا من تصميم تركيبة سوف تستغرق منك عاماً أو أكثر لتحليلها، عليك بتصميمها بحيث يمكنك تجربتها لأداء وظيفة معيَّنة خلال أيام فقط".

كثير من المجموعات البحثية تتابع تصميم البروتينات الآن، بما فى ذلك الباحثين الأكاديميين أمثال "جين ريتشاردسون" من جامعة (ديوك)، "بروس إريكسون" من جامعة نورث كارولينا، "توم بلاندل" و"روبن ليذاربارو" و"آلان فيرشت" من بريطانيا. وبدأت النجاحات تتابع. ولكن اليابان تتميز بأن بها منظمة مخصصة فقط لمثل تلك المشروعات، وهى (معهد أبحاث هندسة البروتينات) بأوزاكا. وفى عام ١٩٩٠ أعلن معهد أبحاث هندسة البروتينات عن نجاح تصميم وتركيب بروتين جديد يبلغ حجمه عدة مرات قدر حجم أى جزىء تم تخليقه من قبل.

• هل هناك شيء خاص بالنسبة إلى البروتينات؟

الميزة الرئيسية للبروتينات أنها مألوفة، فنحن نعرف الكثير عنها كما توجد أدوات كثيرة للتعامل معها. ومع ذلك فللبروتينات عيوبٌ أيضًا. وكون هذا العمل التصميمي يبدأ بالبروتينات - وهي جزيئات ناعمة ولينة تناسب بالكاد أغراض التكنولوجيا النانوية - لا يعني أنه سوف تظل محبوسة بتلك القيود. ويقول (ديجاردو): "الهدف الرئيسي من عملنا في تصميم البروتينات الجديدة هو أن نكون قادرين على اتخاذ الخطوة التالية والابتعاد تمامًا عن المنظومات البروتينية". وأحد الأمثلة المبكرة على ذلك عمل "والاس كاروزرس" من شركة (دوبونت) الذي استخدم أسلوبًا جديدًا لدراسة طبيعة البروتينات، إذ بدلا من محاولة قطع البروتينات، فإنه حاول تركيب أو تخليق أشياء بدءًا بالأحماض الأمينية والجزيئات أحادية الحد(٧) المماثلة الأخرى. وفي عام ١٩٢٥ نجح في صنع النايلون.

يشرح ديجرادو الموقف بقوله: "هناك اعتقاد فلسفي عميق في (دوبونت) بقدرة الناس على صنع جزيئات جديدة بما يصنع أشياء مفيدة. وهناك درجة معينة من الالتزام من إدارة الشركة بأن متابعة هذا الطريق سوف تُفضي إلى منتجات غير مباشرة.لا يمكن دائما التنبؤ بها، لكنهم يعرفون أنهم يحتاجون إلى دعم هذا العلم الرئيسي.

"وأنا أعتقد أساسًا أن لدينا فرصة جيدة لعمل أشياء مثيرة فعلا بتصميم بروتينات جديدة، لأن حصيلتنا أو ذخيرتنا يجب أن تكون أكبر بكثير من الموجود منها في الطبيعة. فكر في قدرة الإنسان على الطيران، فالمرء يمكنه تربية حمام زاجل جيد أو يصمم طائرات". غير أن مجتمع علم البيولوجيا يميل تجاه علم الطيور أكثر مما يميل تجاه هندسة الطيران والفضاء. وتجربة ديجرادو هي أن: "الكثير من علماء البيولوجيا يشعرون أنك إذا لم تكن تعمل مع الشيء الحقيقي (أي البروتينات الطبيعية) فإنك لا تدرس علم البيولوجيا، ومن ثم لا يتقبلون تماما ما نفعله الآن. ومن ناحية أخرى، هم يرونها كيمياء جيدة ومفيدة".

---

(٧) Monomers

• إلى أين تتجه هندسة البروتينات؟

مصممو البروتينات، مثلهم مثل فيزيائيي شركة (IBM)، تحفزهم أفكار هندسة الجزيئات. وفي عام ١٩٨٩، تنبأ ديجرادو بأنَّ: "أنا أعتقد أننا سنتمكن من صنع محفزات أو جزيئات شبه أنزيمية، لعلها يمكنها حفز التفاعلات غير المُحَفَّزة في الطبيعة". والمحفزات عبارة عن أجهزة جزيئية تُسَرِّع من معدَّل التفاعلات الكيميائية، ذلك أنها تشكل قالبا أو نموذجًا للجزيئين المتفاعلين، ليستقرا فيه، وبالتالي تساعد على سرعة حدوث التفاعل، بما يصل إلى مليون تفاعل في الثانية الواحدة. والمحفزات الجديدة للتفاعلات البطيئة حاليا سوف تحقق وفرًا هائلا في تكاليف الصناعات الكيميائية.

وهذا التنبؤ تحقق بعد بضعة أشهر فقط عندما أعلن باحثو دينفر "جون ستيوارت" و"كاترل هان" و"ويزلو كليس" عن أنزيمهم الجديد الذي صمموه من لا شيء سابق عليه خلال فترة عامين وتمكنوا من التركيب الناجح له من أول محاولة. وهو محفز كيميائي يزيد من سرعة بعض التفاعلات إلى نحو ١٠٠٠٠٠ مرة. ويعتقد "بروس مريفيلد" الحاصل على جائزة نوبل أن: "إذا وسع الآخرون من نطاق هذا العمل، فسوف يصبح واحدًا من أهم الإنجازات العلمية في علم البيولوجيا أو الكيمياء".

كذلك لديجرادو خططٌ طويلة الأجل لتصميم البروتينات، فيما هو أبعد من صنع المحفزات، ويقول عنها: "إنها سوف تمكننا من التفكير في تصميم أدوات جزيئية في السنوات الخمس أو العشر التالية. ولابد أن يكون ممكنا في النهاية وصف أو تحديد تصميم معين وتنفيذه عمليًا. وعندئذ سوف تكون لديك، مثلا، جزيئات شبه بروتينية تتجمع ذاتيا إلى جسيمات جزيئية معقدة يمكن استخدامها كأجهزة، ولكن هناك حدًا لمدى صغر الأدوات التي يمكنك صنعها. إنك سوف تصغر الأشياء قدما حتى تصل إلى حد لا يمكن تجاوزه، لأنك تكون قد وصلت وقتئذ إلى أبعاد الجزيئات الفعلية".

ويبين "مارك بيرسون" أن إدارة شركة دوبونت أيضا لها نفس تلك الرؤية . وفيما يتعلق بإمكانات نجاح التكنولوجيا النانوية والمجمعات يقول: "كما تعلم، فإن ذلك يحتاج إلى أموال وجهود وأفكار جيدة بكل تأكيد. ولكن حسب ما أرى، لا يوجد أى قيد رئيسى مطلق يحول دون قيامنا بذلك". ولم يقل أن شركته تخطط لتطوير التكنولوجيا النانوية، غير أن تلك الخطط ليست فى الواقع ضرورية. شركة (دوبونت) تسير الآن بالفعل على طريق التكنولوجيا النانوية، ولكن لأسباب تجارية أخرى قصيرة الآجل. وهى، مثل شركة (IBM)، إذا قررت التحرك بسرعة، فإن لديهم الموارد والأفراد التقدميين اللازمين لتحقيق النجاح المنشود.

• من الآخرين الذين يصنعون أجساما جزيئية ؟

الكيميائيون الذين لا يعمل أكثرهم فى مجال البروتينات هم الخبراء التقليديون فى بناء الجسيمات الجزيئية. وهم يبنون الجزيئات كمجموعة من أكثر من قرن، ويتمتعون بقدرة وثقة متزايدين. وكل طرقهم وأساليبهم غير مباشرة، فهم يعملون مع بلايين الذرات فى كل وقت من الأوقات، بتواز مكثف، ولكن بدون تحكم كامل فى مواضع أعمالهم. فالجزيئيات تسقط عادة عشوائيًا فى أى سائل أو غاز، مثل مكعبات الغاز المتضامة التى قد، أو قد لا، تتجمع مع بعضها البعض بالطريقة الصحيحة عند هزها مع بعضها فى صندوق. ولكن بالتصميم المتقن والتخطيط الصحيح يمكن انضمام معظم المكعبات مع بعضها بعضا بالطريقة الصحيحة.

الكيميائيون يخلطون الجزئيات على نطاق واسع (مثلاً فى مشهد محاكاتنا يتسع أنبوب الاختبار لحشد متمخّض من الجزيئات يبلغ حجمها مثل بحر داخلى)، غير أنهم

مازالوا ينفذون تحولات جزيئية دقيقة، ولأنهم يعملون بشكل غير مباشر هكذا، فإنهم يحققون إنجازات مذهلة. ويرجع ذلك جزئيا إلى نتائج قدر هائل من الأعمال التى تصب فى هذا المجال لعشرات السنين، ويعمل آلاف الكيميائيين فى تركيب الجزيئات فى الولايات المتحدة فقط، يضاف إليهم الكيميائيين من أوروبا واليابان وبقية أرجاء العالم، وهكذا تجد أمامك عدد هائل من الباحثين الذين يخطون خطوات عملاقة، وهناك دليل للأبحاث الكيميائية (ملخص الأبحاث الكيميائية)، رغم أنه ينشر فقط فقرة واحدة موجزة عن كل تقرير بحثى، فإنه يغطى جدران مكتبات كثيرة وينمو بقدر عدة أقدام كحيز زائد للتخزين كل عام.

• كيف يمكن بخلط الكيماويات صنع أجسام جزيئية ؟

يستطيع المهندس أن يقول إن الكيميائيين (على الأقل أولئك المتخصصين فى التخليق الكيميائى) يقومون بأعمال تركيبية، ويدهشه أنه يمكنهم تنفيذ أى شىء بدون أن يمسكوا تلك الأجزاء ويضعوها فى أماكنها الصحيحة. والحقيقة أن الكيميائيين يعملون وأيديهم مربوطة خلف ظهورهم، ويمكن تسمية التصنيع الجزيئى "كيمياء موضعية" أو "تخليقًا موضعيًا" يتيح للكيميائيين القدرة على وضع الجزيئات فى الأماكن التى يريدونها لها فى فراغ ثلاثى الأبعاد. وبدلا من محاولة تصميم مكعبات الألغاز التى ستلتصق ببعضها بعضا بأنفسها بطريقة صحيحة عند هزها داخل صندوق، فإن الكيميائيين سوف يكونون عندئذ قادرين على معالجة الجزئيات كقطع بناء من الطوب ترص فوق بعضها البعض. والمبادئ الأساسية للكيمياء ستظل كما هى، ولكن إستراتيجيات التركيب سوف تصبح أكثر بساطة.

وبدون تحكم موضعى، يواجه الكيميائيون مشكلة تشبه هذه: تخيل برميلا زجاجيا عملاقا مملوءا بمثاقيب تعمل بالبطارية وهى تطن فى كل الاتجاهات وتهتز يمينا ويساراً داخل البرميل. إن هدفك هو أخذ قطعة من خشب وثقب فتحة فى نقطة معينة منها. إذ قمت ببساطة بإلقاء قطعة الخشب فى البرميل، فإنها سوف تنثقب عشوائيًا فى أماكن كثيرة منها. وللسيطرة على عملية الثقب هذه، يجب عليك حماية أو تأمين كل الأماكن التى لا تريد ثقبها، مثلا بتغطية معظم سطح الخشبة بقطع معدنية واقية بلصقها عليها. إن هذه المشكلة - كيف تحمى جزءًا من الجزىء أثناء تعديل جزء آخر منه - أجبرت الكيميائيين على استنباط حيلة بارعة لبناء جزيئات أكبر فأكبر.

• إذا كان بمقدور الكيميائيين صنع الجزئيات، فلماذا لا يصنعون أجهزة جزيئية متقنة؟

الكيميائيون يمكنهم عمل أشياء عظيمة، بيد أنهم ركزوا أكثر جهودهم على مضاعفة عدد الجزيئات الموجودة فى الطبيعة، ثم عمل نسخ مصغرة منها. وكمثال خذ سم المرجان (playtoxion)، وهو جزىء يوجد فى المرجان بجزر هاواى. لقد كان صنع هذا السم فى المختبر شديد الصعوبة لدرجة أنه سمى "قمة إيفرست للكيمياء التركيبية" واعتبر تركيبه نصراً كبيراً. ووجهت جهود أخرى إلى صنع جزيئات صغيرة ذات روابط غير عادية، أو جزيئات لها تماثل فائق مثل الجزىء المكعب (cubane)[٨] والجزىء الإثنا عشر الأسطح (dodecahedrane)[٩]، وهما مشكلان بشكل المجسمين الأفلاطونيين[١٠] المسميان باسميهما.

---

(٨) يتكون الجزىء من ثمانى ذرات كربون مرتبة فى زوايا المكعب مع ذرة هيدروجين تعلق على كل ذرة كربون. (المترجم)

(٩) مركب كيمانى له اثنى عشر سطحاً. (المترجم)

(١٠) فى الهندسة الإقليدية. جزئيات محدبة الشكل ذات سطوح متعددة. (المترجم)

والكيميائيون، على الأقل الموجودين بالولايات المتحدة الأمريكية، يعتبرون أنفسهم علماء فى الطبيعة، حتى لو كان عملهم طوال حياتهم هو تركيب الجزيئات بطرق اصطناعية. والمعتاد أن يسمى الناس الذى يبنون الأشياء "مهندسين". والواقع أن قسم الكيمياء التركيبية بجامعة طوكيو جزء من كلية الهندسة. ويقوم كيميائيوه بتصميم مفاتيح جزيئية لتخزين بيانات الحاسوب. إن إنجازات الهندسة سوف يلزم توجيهها لتحقيق أهداف هندسية.

• كيف يتقدم الكيميائيون باتجاه صنع أجهزة جزيئية ؟

مهندسو الجزيئات العاملون باتجاه التكنولوجيا النانوية يحتاجون إلى طقم من وحدات البناء الجزيئية لصنع تركيبات ضخمة ومعقدة. وقد ابتدع "بروس مريفيلد"، الحائز على جائزة نوبل لعام ١٩٨٤ فى الكيمياء، التركيبات النظامية لوحدات البناء. وتُعرف منظومته بـ "تركيب الأطوار الصلبة" أو ببساطة "طريقة مريفيلد"، وقد استخدمها لتخليق السلاسل الطويلة من الأحماض الأمينية التى تكوِّن البروتينات. وفى طريقة مريفيلد، تتم دورات من التفاعلات الكيميائية التى يضيف كل منها وحدة بناء تعادل جزيئا واحداً فى نهاية سلسلة مثبتة فى دعامة صلبة. ويحدث ذلك بالتوازى مع كل مجموعة من تريليونات السلاسل المتطابقة، مما يبنى تريليونات الجسيمات الجزيئية التى لها تسلسل مُعيَّن من وحدات البناء. ويستخدم الكيميائيون باستمرار طريقة (مريفيلد) لصنع جزيئات أكبر من سم المرجان، والتقنيات المقترنة بها تُستخدم لصنع الحامض النووى (دنا) DNA فيما يُسمى الأجهزة الجينية، وهاك إعلان من شركة ألاباما يُقرأ هكذا: "الحمض النووى (دنا) نقى تماماً ويُسلم خلال ٤٨ ساعة".

وبينما نجد أنه من الصعب التنبؤ بكيفية طىّ سلسلة البروتين الطبيعى – إذ إنه لم يُصمَّم لكى ينطوى بشكل يمكن التنبؤ به – فإنَّ الكيميائيين يمكنهم بناء وحدات بناء

أكبر وأكثر تنوعًا وأكثر قابلية للطىّ بشكل واحد واضح ومستقر. وبمجموعة من وحدات البناء كهذه، وفى ظل طريقة مريفيلد ترتب كلها مع بعضها البعض فى سلسلة، يمكن لمهندسى الجزيئات تصميم وبناء سلاسل جزيئية بسهولة أكثر.

• كيف يصمم الباحثون ما لا يمكنهم رؤيته ؟

لصنع جزىء جديد، يجب تصميم تركيب هذا الجزىء وكذا طريقة صنعه، وبالمقارنة بالمشروعات العلمية الجبارة مثل جهاز التصادمات الجبار والموصلية الفائقة، وتلسكوب هابل الفضائى، فإن التعامل مع الجزيئات يمكن أن يتم بميزانية غير كافية، وما زالت تكاليف تجربة إجراءات كثيرة متباينة تزيد من العبء المالى، ويستخدم المصممون نماذجَ تشغيلية لمساعدتهم على التنبؤ بما يصلح وما لا يصلح.

لعلك لعبت بنماذج الجزيئات فى أثناء دروس الكيمياء بمدرستك، وهى عبارة عن كريات وعصى ملونة تتجمع مع بعضها البعض مثل قطع البلاستيك التركيبية. وكل لون يمثل نوعًا مختلفًا من الذرات: كربون، هيدروجين، وهلم جرا. وحتى النماذج البلاستيكية البسيطة تعطيك إحساسًا بعدد الروابط التى تنشئها كل ذرة، وما هو طول تلك الروابط، وما هى الزوايا التى تصنعها. وهناك نوع من النماذج الأكثر تعقيدا وتطورا يستخدم كريات وكريات جزئية فقط بدون عصى. وتسمى تلك الأشكال الملونة الخشنة وغير المنتظمة بـ "نماذج التلوين CPK"[١١] ويستخدمها الكيميائيون المحترفون على نطاق واسع. ويقول "دونالد كرام"، الحائز على جائزة نوبل: "لقد قضينا مئات الساعات نبنى نماذج التلوين CPK للمركبات الكيميائية المحتملة ونصنفها من حيث مدى مناسبتها كأهداف بحثية". وقد ركز بحثه، مثلما فعل زميلاه الحائزان على جائزة

---

(١١) طريقة لتلوين ذرات العناصر الكيميائية المختلفة لتميزها عن بعضها بعضا، فاللون الأبيض للهيدروجين والأسود للكربون والأزرق للنيتروجين والأحمر للأكسجين، وهكذا. (المترجم)

نوبل أيضا "تشارلس ج. بدرسون" و"جين مارى لين"، على تصميم وصنع جزيئات متوسطة الحجم تتجمع ذاتيا.

على الرغم من أن النماذج الفيزيائية لا تعطى وصفا جيداً لكيفية انثناء الجزيئات وتحركها، فإن الجزيئات المصممة بواسطة الحاسوب يمكنها ذلك. والنماذج المصممة حاسوبيا تلعب بالفعل دوراً رئيسيا فى هندسة الجزيئات. وكما قال "جون ووكر"، وهو مؤسس ورئيس شركة (أوتوديسك)" بخلاف الثورات الصناعية التى سبقتها، فإن هندسة الجزيئات تتطلب كمُكَوِّن رئيسى لها القدرة على تصميم ونمذجة ومحاكاة التركيبات الجزيئية باستخدام الحواسيب".

لم يمر ذلك بدون ملاحظة من مجتمع الأعمال التجارية والصناعية، فقد شغلت ملاحظة جون ووكر جزءا من الحديث حول التكنولوجيا النووية الذى ألقى بشركة (أوتوديسك)، وهى شركة فى صدارة شركات التصميمات بواسطة الحاسوب وواحدة من أكبر خمس شركات تعمل فى البرمجيات بالولايات المتحدة، وبسرعة بعد هذا الحديث، افتتحت الشركة أول استثمار كبير لها فى مجال تصميم الجزيئات حاسوبيا.

• كيف نقارن التصميم الجزىء بأنواع الهندسة الأخرى الأكثر ألفة؟

الصانعون والمهندسون المعماريون يعرفون أن تصميمات المنتجات والمبانى الجديدة تتم على أفضل وجه بمساعدة الحاسوب، أى تصميم حاسوبى (CAD)[١٢]. ويمكن تسمية برامجيات تصميم الجزيئات الجديدة "التصميمات الحاسوبية"، وفى صدارتها يوجد باحثون مثل "جاى بوندر" من جامعة ييل، قسم الفيزياء الحيوية والكيمياء الحيوية الجزيئية. ويشرح بوندر الأمر بقوله: "يوجد ارتباط قوى بين ما يفعله مصممو الجزيئيات وما يفعله المهندسون المعماريون. و"مايكل وارد" من شركة دوبونت

(١٢) التصميم بمساعدة الحاسوب أى استخدام الحاسوب لمنظومات مساعدة فى الإنشاء أو التعديل أو التحليل أو التصميم الأمثل. (المترجم)

يصمم مجموعة من وحدات البناء كطقم التركيبات البلاستيكية. بحيث يمكنك تجميعها لبناء إنشاءات أكبر، هذا بالضبط ما نفعله بتقنيات النمذجة الجزيئية.

"كل مبادئ التصميم والهندسة الميكانيكية التي تنطبق على بناء ناطحة سحاب أو جسر تنطبق أيضا على هندسة أو صنع الجزيئات. فإذا كنت تشيد جسراً، فعليك أن تصنع نموذجًا له، وترى كم عدد الشاحنات التي يمكن أن تكون على متنه في نفس الوقت بدون أن ينهار، وما هو نوع القوة التي ستؤثر بها عليه، وما إذا كان سيصمد للزلازل.

"نفس هذه العملية تحدث عند تصميم الجزيئات، إذ إنك تصمم قطعا ما ثم تحلل الإجهادات والقوى وكيف ستغير وتفسد الجسر، إن هذا يشبه تماما تصميم وإنشاء مبنى ما أو تحليل الإجهادات على أي إنشاء ضخم أعتقد أنه من المهم جعل الناس يفكرون بهذه الطريقة.

"مصمم الجزيئات يجب أن يكون مبدعا بنفس الطريقة التي يكون بها المهندس المعماري مبدعا عندما يصمم جسراً. عندما يبحث الناس داخل البروتين ويحاولون إعادة تصميمه لخلق حيز أكبر يؤدي وظيفة معينة، فذلك يشبه تصميم حجرة لاستخدامها كحجرة طعام، مثلا حجرة تتسع لأحجام معينة من الطاولات وعدد معين من الضيوف. إنه نفس الشيء في كلتا الحالتين، يجب أن تصمم حيزًا لأداء وظيفة معينة".

إن "بوندر" يدمج بين الكيمياء والعلوم الحاسوبية في منطلق هندسي شامل بقوله: "إن عملي مزدوج، فأنا أقضي حوالي نصف وقتي أجري تجارب، ونصف وقتي الآخر أكتب برامج حاسوبية، كما أقوم ببعض الحسابات. وعلى ذلك، فأنا بين بين". والمنظور الهندسي يساعد في التفكير في المكان الذي ستقودنا إليه الأبحاث الجزيئية إليه. "وحتى في وجود التكنولوجيا النانوية، فإننا مازلنا عند المقاسات النانوية، فالإنشاءات

والتركيبات مازالت بالغة الضخامة لدرجة أن الكثير جداً من الأشياء تعتبر تقليدية. ومرة أخرى، إن الأمر فعلا يشبه بناء جسور، ولكن جسور صغيرة للغاية. وعلى ذلك يوجد لدينا الكثير من التقنيات الهندسية الميكانيكية القياسية إلى حد كبير، والمتاحة للهندسة المعمارية وبناء الإنشاءات، مثل تحليل الإجهادات، التى تنطبق على موضوعنا هذا".

• ألا تتطلب الهندسة عملا جماعيا أكثر مما يتطلبه العلم؟

الشروع فى التكنولوجيا النانوية يتطلب عملاً مشتركًا لخبراء فى مجالات مختلفة: الكيميائيون الذين يتعلمون كيف نصنع أجهزة جزيئية، وعلماء الحواسيب الذين يبتكرون أدوات التصميم المطلوبة، وربما أيضا خبراء المجاهر النفقية الماسحة ومجاهر القوة الذرية، الذين يمكنهم توفير أدوات لوضع الجزيئات فى أماكنها: ولكن لإحراز تقدم، يتعين على أولئك الخبراء عمل ما هو أكثر من مجرد العمل، إذ عليهم أن يعملوا معا كفريق، ولأن التكنولوجيا النانوية تجمع بين مجالات علمية متعددة فإن الدول التى تضع حواجزَ بين المجالات الأكاديمية بها، مثل الولايات المتحدة، سوف تجد أن باحثيها يجدون صعوبة فى التواصل والتعاون مع بعضهم البعض.

فى الكيمياء، اليوم، يعتبر ستة من الباحثين يساعدهم بضعة عشرات من الطلاب والفنيين فريقا بحثيا كبيرا، ففى هندسة الفضاء، تتوزع مهام ضخمة، مثل الوصول إلى القمر أو صنع طائرة ركاب ضخمة، إلى مهام فرعية تكون فى متناول أو قدرة بعض الفرق البحثية الصغيرة، وكل هذه الفرق الصغيرة تعمل مع بعضها البعض، وتشكّل فريقا بحثيا كبيرا، ربما يضم آلاف المهندسين، يساعدهم آلاف كثيرة من الفنيين، فإذا كانت الكيمياء ستسير فى طريق هندسة المنظمات الجزيئية، فسوف يحتاج الكيميائيون إلى التحرك على الأقل بضع خطوات فى هذا الاتجاه.

وفى الهندسة، يعرف الجميع أن تصميم صاروخ يتطلب اشتراك مهارات من مختلف المجالات العلمية، بعض المهندسين يعرفون التركيبات، وآخرون يعرفون المضخات أو الاحتراق أو الإلكترونيات أو البرمجيات أو الديناميكيات الحرارية أو نظرية التحكم وهلم جرا، وذلك فى قائمة طويلة تشمل تخصصات علمية متباينة. ومديرو المهندسين يعرفون كيف يدمجون بين تلك المجالات المختلفة بهدف بناء المنظمات المطلوبة.

فى العلوم الأكاديمية، يكون العمل المشترك بين مختلف التخصصات العلمية منتجًا وإيجابيا ومقدرا، لكنه نادر الحدوث نسبيًا. فالعلماء لا يحتاجون للتعاون لكى تتوافق نتائجهم مع بعضها بعضا، لأنهم جميعا يصفون أوجهًا مختلفة لنفس الشىء - الطبيعة - ولذلك فعلى المدى الطويل تميل نتائجهم إلى التجمع مع بعضها البعض بشكل صحيح فى صورة واحدة، غير أن الهندسة مختلفة عن ذلك، لأنها أكثر إبداعا (إذ إنها فى حقيقة الأمر تخلق أشياء مركبة ومعقدة).

وتتطلب اهتمامًا أكبر بالعمل الجماعى، فإذا كانت الأجزاء المنتهية من التشغيل سوف تعمل مع بعضها البعض، يجب صنعها جماعيا، بحيث تشكل صورة واحدة لما يجب أن يؤديه كل جزء منها. المهندسون من مختلف التخصصات مضطرون إلى الاتصال والتفاعل مع بعضهم البعض، والتحدى الموجود هنا أمام الإدارة وبناء فريق العمل هو تسهيل حدوث تلك الاتصالات. وينطبق ذلك على المنظمات الجزيئية الهندسية بنفس القدر الذى تنطبق به على الحواسيب الهندسية أو السيارات أو الطائرات أو المصانع.

يرى "جون بوندر" أن هذا أمر مرتبط بوجهات النظر ويقول: "إن هذا يعبر عما تعتقد، المجموعات المختلفة التى عليها أن تعمل معًا لإنجاح هذا العمل، فمثلا، الكيميائيون يقومون بدورهم والحاسوبيون يقومون بدورهم. على الناس أن يتقاربوا ويتشاركوا ليروا الصورة الكبيرة المتكاملة. هناك أناس يريدون أن يعبروا الفواصل

التى بينهم، لكنهم قليلون المقارنة بالآخرين الذى يعملون فى مجال تخصصهم فقط ولا يهتمون بما سواه". والسير قدما باتجاه التكنولوجيا النانوية سيستمر، وكما نرى، فإن الباحثين الذين تدربوا ككيميائيين أو فيزيائيين، وما شابه ذلك، سوف يتعلمون أن يتحدثوا مع بعضهم البعض لحل المشاكل الجديدة التى تواجههم. وهم إما أن يتعلموا كيف يفكرون كمهندسين ويعملون ضمن فريق واحد، وإما أن يتفوق عليهم زملاء لهم فى نفس المجال.

• هل تلك المشاكل تعوق التقدم إلى الأمام؟

مع كل تلك المشاكل، فإن التقدم باتجاه التكنولوجيا النانوية سوف يستمر. والصناعة يجب أن تحقق دائما تقدما إلى الأفضل فى مجال التحكم فى المادة للبقاء فى نطاق التنافس داخل الأسواق العالمية. والمجاهر النفقية الماسحة وهندسة البروتينات وكثير من جوانب الكيمياء تدفعها كلها ضرورات ودواع تجارية. والجهود المركزة هنا سوف تحقق تقدمات أسرع، ولكن حتى بدون تركيز واضح، فإن التطورات فى هذا الاتجاه لها سمة الحتمية. وكما يلاحظ "بيل ديجرادو": "إن لدينا الأدوات المطلوبة بالفعل، وأظهرت خبراتنا أنه عندما تتوفر لك الأدوات التحليلية والتركيبية لعمل الأشياء، فإنه فى النهاية سيسير العلم إلى الأمام ويعملها، وذلك ببساطة لأنه يمكن عملها". ويوافقه "جاى بوندر" الرأى بقوله: "فى غضون السنوات القليلة القادمة، سوف تشهدون تطورات ثورية بطيئة تصدر من أناس يتعاملون مع التركيبات الجزيئية ويضعون أسسها ومبادئها، وسوف يعكف الناس على حل مشكلة معيَّنة، لأنهم يرون فائدة تطبيقية لها أو لتوفر منحة بحثية لهم بهذا الصدد، وأثناء عمل شىء ما، مثل تحسين قدرة أحد منظفات الغسيل الصناعية على تنظيف بقع البروتينات، فسوف تقوم شركة (بروكتر وجامبل) بالمساعدة فى استنباط أسس كيفية زيادة استقرار الجزيئات وتصميم فراغات داخل الجزيئات".

• **هل يتحمل اليابانيون نصيبهم من عبء أبحاث التكنولوجيا النانوية ؟**

لأسباب كثيرة متباينة، تبدو المشاركة اليابانية فى أبحاث التكنولوجيا النانوية ممتازة. وبينما تتابع الولايات المتحدة عادة الأبحاث فى هذا المجال بإحساس قليل بمداه الطويل، فإنه يبدو أن اليابان بدأت تتخذ منطلقا أكثر تركيزاً. الباحثون هنا لديهم بالفعل أفكاراً واضحة بشأن الأجهزة الجزيئية، وتحديداً ما يصلح منها للعمل وما لا يصلح. أما الباحثون اليابانيون فهم معتادون على مستوى أعلى من الاتصال والتفاعل بين مختلف التخصصات العلمية والهندسية أكثر من الأمريكيين. فى الولايات المتحدة نحن نقدر جداً "العلم الأساسى" أو ما يسمى غالبا بـ "العلم المجرد". كما لو أن التطبيقات العملية نوع من عدم النقاء، وبدلا من ذلك تركز اليابان على "التكنولوجيا الأساسية".

التكنولوجيا النانوية هى تكنولوجيا أساسية، واليابانيون يدركون أنها هكذا. وتعكس التغيرات الحديثة بمعهد طوكيو للتكنولوجيا – النظير اليابانى لمعهد MIT – تصوراتهم عن الاتجاهات الواعدة للأبحاث المستقبلية، ولكثير من العقود، كان لمعهد طوكيو للتكنولوجيا قسمان رئيسيان هما: كلية العلوم وكلية الهندسة، وتضاف إلى هذين الآن كلية العلوم الحيوية والتكنولوجيا الحيوية، التى تتضمن أربعة أقسام هى: قسم العلوم الحيوية، وقسم الهندسة الحيوية، وقسم هندسة الجزيئات الحيوية، وما يسمى "قسم التركيبات الحيوية". وإنشاء كلية جديدة بجامعة يابانية كبرى أمر نادر الحدوث، والآن ما الجامعة الأمريكية التى بها قسم مخصص صراحة لهندسة الجزيئات ؟ أما اليابان، فبها كلا القسمين بمعهد طوكيو للتكنولوجيا وقسم هندسة الجزيئات المؤسس حديثا بجامعة كيوتو.

المعهد اليابانى للأبحاث الكيميائية والفيزيائية (RIKEN) لديه ثقل كبير فى مختلف التخصصات العلمية. ويلاحظ "هيرويكى ساساب"، رئيس البرنامج الرائد لأبحاث المواد

بالمعهد اليابانى للأبحاث الكيميائية والفيزيائية، أن بالمعهد خبراء على اطلاع واسع فى مجالات التركيبات العضوية وهندسة البروتينات وتكنولوجيا المجاهر النفقية الماسحة. ويقول ساساب إن مختبره قد يحتاج إلى خبير فى معالجة الجزيئات من النوع الموصوف فى الفصل التالى، لتنفيذ أهداف هندسة الجزيئات.

كذلك، تتحرك تكتلات الأبحاث التجارية الكبرى فى اليابان باتجاه التكنولوجيا النانوية. وترعى منظمة الأبحاث الاستكشافية فى التكنولوجيا المتطورة (ERATO) الكثير من المشروعات البحثية لمدة ٣-٥ سنوات على التوازى، على أن يكون لكل منها هدفا محددا خذ مثلا الأبحاث الجارية هناك حاليا:

- مشروع الآليات النانوية بيوشيدا.
- مشروع التجميع الديناميكى للجزئيات بهوتانى.
- مشروع الهندسة المعمارية الجزيئية بكونيتيك.
- مشروع مصفوفات البروتينات بناجاياما.
- مشروع المركبات النووية بأونو.

ويركز كل هذا على جوانب مختلفة من تحقيق السيطرة، أو التحكم فى المادة عند مستوى الذرات، فمثلا مشروع مصفوفات البروتينات بناجاياما، يهدف إلى استخدام البروتينات كمواد هندسية فى التحرك باتجاه صنع أدوات جزيئية جديدة. ومشروع المركبات النووية بأونو لا يتضمن أى طاقة نووية - كما قد توحى ترجمته الحرفية - ولكنه جهد يضم تخصصات علمية كثيرة بهدف استخدام مجهر نفقى ماسح لترتيب المادة عند مستوى الذرات المنفردة.

غير أنه عند نقطة ما لابد أن يتحرك العمل فى التكنولوجيا النانوية خارج عباءة المجالات العلمية الأخرى ليقوم بمهمة تصميم وإنشاء جزيئية. إن التحول من علم نفعى تابع إلى هندسة منظمة يتطلب تغييرا فى الموقف والاتجاه. وفى هذا الصدد فإن اليابان تتقدم الآن على الولايات المتحدة.

• ما التخمين الواقعى المعتدل الجيد للمدة التى نحتاجها لتطوير التكنولوجيا النانوية الجزيئية ؟

التكنولوجيا النانوية الجزيئية سوف تبرز خطوة تلو الأخرى، أمام المعالم الرئيسية لها، مثل هندسة البروتينات ووضع الذرات المنفردة فى أماكنها، فقد تمت بالفعل. ولكى يتكون لدينا تصور للمعدل المحتمل لتطورها، فنحن نحتاج إلى التأمل فى كيفية اندماج جوانبها المختلفة مع بعضها البعض.

أدوات نمذجة الجزيئات بمساعدة الحاسوب أصبحت تغزو أدوات التصميم بمساعدة الحاسوب، وسوف تزداد قدرة مع الوقت. وقاعدة التكنولوجيا - برامجيات الحاسوب - آخذة فى التطوير المتواصل وبمعدل متزايد منذ عقود، من حيث سعرها وأدائها، والمعتقد بوجه عام أن ذلك سيستمر لسنوات طويلة قادمة. وهذه التطورات منفصلة إلى حد كبير عن التقدم فى مجال هندسة الجزيئات، ولكنها تجعل هندسة الجزيئات أسهل وتسرع من تقدمها، وبدأت النماذج الحاسوبية للأجهزة الجزيئية فى الظهور، وسوف يثير ذلك من شهية الباحثين.

التقدم فى هندسة صنع الأجهزة الجزيئية، سواء باستخدام المجسات التقاربية أو التجميع الذاتى، سوف يحقق فى النهاية نجاحات مدوية، وفى اليابان، بدأت أهداف الأبحاث فى جذب الاهتمام الجدى على أساس زيادة انتشار الفهم للعائد المبشر بعيد المدى لهندسة الجزيئات. وثمة اندماج ما لهذه التطورات يفضى فى النهاية إلى تفهم

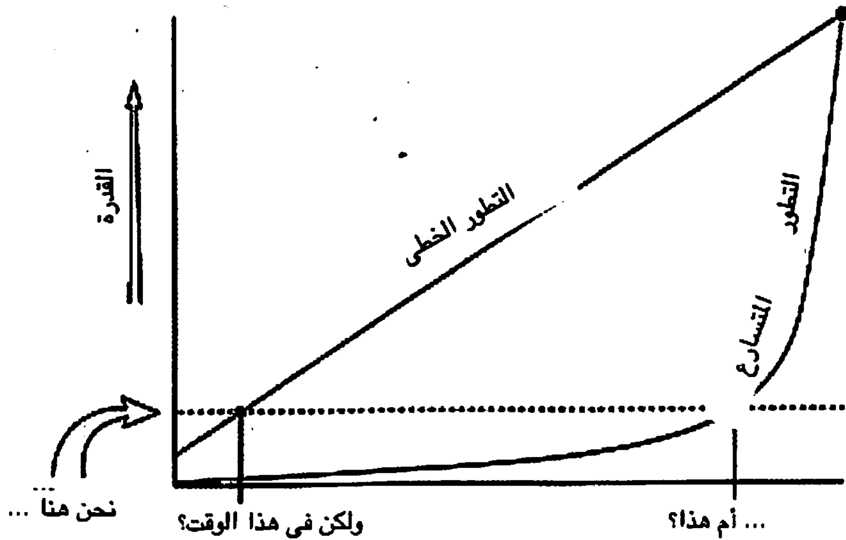
عام وجدى لما يمكن أن تحققه تلك التكنولوجيات، ثم لن يلبث عالم الأفكار والتمويل وشكل الأبحاث أن يتغير. سابقا كانت التطورات ثابتة ولكنها عشوائية. أما لاحقا فإن التطورات سوف تكون مدفوعة بالطاقة التى تسرى فى برامج الأبحاث التجارية والعسكرية والطبية الكبرى، لأن التكنولوجيا النانوية سوف يتم تقديرها والاهتمام بها باعتبارها تدعم الأهداف التجارية والعسكرية والطبية الكبرى، ويعتمد توقيت الأحداث المستقبلية إلى حد كبير على المدى الزمنى الذى سوف نصل فيه إلى بداية الاهتمام الجدى والموضوعى بالتكنولوجيا النانوية.

عند عمل تقديرات زمنية مستقبلية، يميل الناس عادة إلى افتراض أن تغيرا كبيرا سوف يستغرق وقتا طويلا، معظمنا يفعل ذلك، لكن ليس كلنا، فحاسبات الجيب كان لها تأثير درامى كبير على المسطرة الحاسبة المنزلقة، وفى الحقيقة حلت محلها تماما، وسرعة هذا التغير أخذت أقطاب صناعة المساطر الحاسبة على غرة، غير أن معدل التقدم فى الإلكترونيات لم يتباطأ قط حتى يساير توقعاتهم.

يمكن للمرء أن يقول إن التكنولوجيا النانوية سوف تتطور بسرعة، إن كثيرا من الدول والشركات سوف تتنافس لتصل إلى تحقيقها قبل غيرها، وسوف يكون دافعها إلى التحرك للأمام مزدوج: الفوائد الهائلة المتوقعة، فى مجالات متعددة تشمل الطب والبيئة، علاوة على التطبيقات العسكرية المحتملة. وهذه مجموعة من الدوافع الجبارة، كما أن التنافس سوف يكون وسيلة تعجيل مؤثرة للغاية.

ولكن ثمة رأى مضاد يفيد بأن التطورات سوف تكون بطيئة، لأن أى شخص كان يفعل شيئا ذا مغزى فى العالم الحقيقى للتكنولوجيا، مثلا يقوم بتجربة علمية أو يكتب برنامجا حاسوبيا أو يطرح منتجا جديدا فى السوق، يعرف أن تلك الأهداف تحتاج وقتا أطول من المتوقع. والواقع أن "قانون هوفستاد" ينص على أن المشروعات تستغرق وقتا أطول من المتوقع، حتى عند أخذ قانون هوفستاد فى الحسبان، غير أن هذا المبدأ مرشد جيد فى المدى القصير ولمشروع واحد فقط.

بيد أن الموقف يختلف عند استكشاف مسارات أو طرق كثيرة متباينة بمعرفة مجموعات علمية مختلفة طوال عدد كبير من السنين. ذلك أن معظم المشروعات قد تستغرق وقتا أطول من المتوقع لها، ولكن فى ظل وجود فرق عمل كثير تختبر مسارات لابد أن السير فى أحدها سيكون أسرع من المتوقع، والفائز فى سباق العدو هذا يكون دائما أسرع من العداء العادى. ويلاحظ "جون ووكر" أن: "الشىء الرائع فى هندسة الجزيئات أنها تبدو فى أعيننا كمجموعة من مسارات كثيرة مختلفة للوصول إلى هناك، وفى تلك اللحظة تحدث تطورات أو تقدمات سريعة فى كل مسار. وكلها تحدث فى نفس الوقت".



منحنى نمو التكنولوجيا المتسارع مقابل الخطى للتكنولوجيا ك. إريك . دريكسلر

إن مدى اقترابنا من هدف مايعتمد على ما إذا كانت التطورات التكنولوجية تحدث بمعدل ثابت أم متسارع، فى هذا الشكل البيانى الخط المنقط يمثل المستوى الحالى للتكنولوجيا، والنقطة الكبيرة أعلى اليمين تمثل هدفا لنا مثل التكنولوجيا النانوية. من خلال تطور مستقيم، يكون من الأسهل تقدير مدى بعد الهدف عنا. ولكن من خلال تطور متسارع، يمكن الوصول إلى الهدف ببطء أو بدون تحذير يذكر.

وأيضا، لاحظ أن تطور التكنولوجيا يشبه سباق عدو على طريق وعر وغير ممهد وعندما يصل أوائل العدائين إلى قمة التل، ربما يرون طريقا مختصرا، وربما يقرر العداء المتأخر أن يندفع إلى داخل الأدغال حتى يعثر على دراجة أو يجد طريقا ممهدا، وبنفس الطريقة، إن تطور التكنولوجيا يمكن التنبؤ به، لأن هذا التطور عادة ما يكشف عن اتجاهات جديدة له.

إذن كيف يمكننا تقدير تاريخ وصول التكنولوجيا النانوية؟ الأكثر حصانة وأمانا أن نتخذ أسلوبًا حذرا هو: عندما نتوقع الفوائد، افتراض أنها تحدث بعيدًا جدًا، وعندما نتوقع مشاكل محتملة، افتراض أنها وشيكة الحدوث. وهنا ينطبق المثل القديم: "تطلع إلى الأفضل ولكن استعد للأسوء". وأى تواريخ معتبرة "بعيدة جدًا" و"وشيكة الحدوث" لا يمكن أن تكون أفضل من الافتراض المعتدل أو المنطقى، وهو أن سلوك الجزيئات يمكن حسابه بدقة، لكن لا ينطبق ذلك على الجداول الزمنية من هذا النوع. وفى ظل تلك الضوابط، يمكننا تقدير أن المجمعات الجزيئية متعددة الأغراض سوف يتم تطويرها على الأرجح، خلال العقود الأولى من القرن الحادى والعشرين، وربما فى عقده الأول.

ويشير "جون ووكر"، الذى أدت حكمته وبصيرته التكنولوجية إلى سرعة تحرك شركة أوتوديسك من دورها المتواضع إلى صدارة صناعتها، إلى أنه من وقت غير بعيد: "كان كثير من الحالمين أو الخياليين، الذين ألفوا تماما تطورات تكنولوجيا السيلكون، مازالوا يتنبأون بأن تحول هندسة الجزيئات إلى حقيقة واقعة لن يحدث قبل فترة

تتراوح بين عشرين إلى خمسين عاما، والواقع أن هذا أبعد بكثير جداً عن النطاق أو المدى التخطيطي لمعظم الشركات، بيد أنه مؤخرا، بدأ كل شيء يتغير". وعلى ضوء التطورات العلمية الحديثة، يضع "جون ووكر" رهانه هكذا: "إن التطور العلمي الحالي يوحي بأن ثورة ما سوف تنبثق في غضون هذا العقد، وربما تبدأ خلال السنوات الخمس القادمة".

الفصل الخامس

بدايات التكنولوجيا النانوية

فى الفصل السابق، استعرضنا موقف الأبحاث الحالية، ولكن من هنا حتى تحقيق التكنولوجيا النانوية فإنَّ سيناريو مكتبة الجيب ما زال يُعتبر قفزة هائلة. إذن كيف يمكننا أن نعبر هذه الفجوة؟

فى هذا الفصل نشرح بإيجاز كيف يمكن للتكنولوجيا الناشئة أن تقودنا إلى التكنولوجيا النانوية. والمسار الحقيقى إلى التكنولوجيا النانوية - أى المسار الذى ستسجله كتب التاريخ - يمكن أن يظهر من أى واحدة من اتجاهات الأبحاث الجارية فى الفيزياء أو الكيمياء الحيوية أو الكيمياء التى سردناها فى الفصل السابق، أو - وهذا هو الأرجح - من كل أولئك معًا. وتوفُّر خيارات كثيرة جيدة كهذه يُوَلِّد الثقة فى إمكان تحقيق الهدف، حتى وإن كانت الثقة أقل فى أن أحد المسارات المعينة سوف يكون أسرع من بقيتها. ولكى نرى كيف تعبر التطورات العلمية الفجوة من التكنولوجيا الحالية إلى بدايات التكنولوجيا النانوية، دعنا نتتبع أحد تلك المسارات العديدة الممكنة.

عبور الفجوة

إحدى طرائق عبور تلك الفجوة، ربما تكون من خلال تطوير مُعالج جُزيئى معتمد على مجهر القوة الذرية، قادر على صنع جزيئات بسيطة. على أن يتضمن هذا المعالج

على أداة جزيئية بسيطة، مثل قابضة جزيئية، وآلية تحديد موضع لمجهر القوة الذرية. ومجهر القوة الذرية يمكنه أن يحرك طرفه الدقيق بدقة، وسوف يُضيف المعالج الجزيئى قابضة طرفية للقبض على أداة جزيئية. ومعالج جزيئى من هذه النوعية سوف يُوجُه التفاعلات الكيميائية بوضع الجزيئات فى أماكنها الصحيحة، مثل أى مُجَمِّع بطىء وبسيط، لكنه هائل الحجم. (فى مشهد محاكاتنا القياسية إذا كان هناك مجمِّع جزيئى موضوع داخل حجرة، فإنَّ جهاز مجهر القوة الذرية يكون فى حجم القمر). وعلى الرغم من تلك القيود، فإنَّ المُعالج الجزيئى المعتمد على مجهر القوة الذرية سوف يكون تطورًا رائعًا.

تُرى كيف يمكن حدوث مثل هذا التقدُّم؟.. حيث إننا اخترنا واحدا من المسارات من ضمن عدد كبير متاح منها، فسوف نُضيف أيضًا بعض التفاصيل ونَحكى إحدى القصص. (يمكن للقارئ الاطلاع على المزيد من الأوصاف الفنية، لجهاز يشبه الجهاز التالى، بمجلة (الطبيعة)..

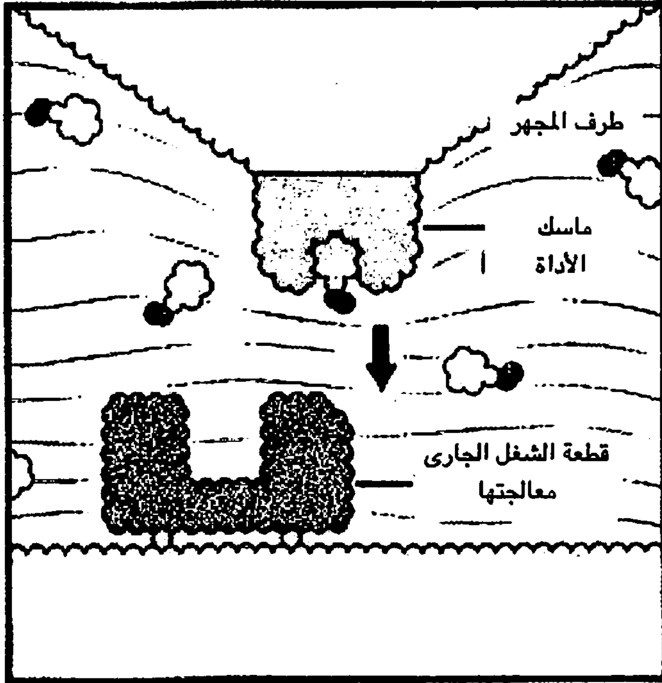
(الرجاء الرجوع إلى قائمة الكتب التقنية آخر الكتاب).

سيناريو: تطوير مُعالج جزيئي

منذ عدة سنوات مضت، بدأ باحثون من جامعة (بروبدينجانج) العمل فى تطوير معالج جزيئى. ولتحقيق هذا الهدف، أنشأ فريق مكوَّن من ستة من الفيزيائيين والكيميائيين وباحثين فى البروتينات (بعضهم يعمل طول الوقت وبعضهم نصف الوقت) وبدأ الفريق القيام بعمل جماعى خلاق ضرورى لحل مشكلة أساسية.

أولا: احتاجوا إلى تثبيت قابضة فى طرف مجهر القوة الذرية. وتحتاج مثل تلك القابضات إلى فتات أو أجزاء صغيرة من جزيئات الجسيمات المضادة، وهى بروتينات لزجة ومُنتقاة يستخدمها الجهاز المناعى بجسم الإنسان للالتصاق بالجراثيم والتعرف

عليها. فإذا أمكنهم جعل "ظهر" الجزىء يلتصق بطرف الجهاز، فعندئذ، يمكن لمقدمة الجهاز أن تلتصق بالأدوات الجزيئية وتقبض عليها. (كانت فائدة فُتات الجسيمات المُضادة هى: التحرر من خيارات الأدوات. فمنذ أواخر ثمانينيات القرن العشرين، أصبح الباحثون قادرين على تخليق جسيمات مضادة تلتصق تقريبًا بأى جزىء مختار مُسبقًا أو أى أداة جزيئية). وقد جربوا ستة طرق مختلفة قبل أن يعثروا على واحدة تعمل بشكل موثوق به، وأعطت نتائج كتلك المبينة بالشكل (٦). وما حدث أن إحدى خريجات الجامعة حصلت على درجة الدكتوراه فى الفلسفة، ضمنتها فكرة هذا القابض، وفى نفس الوقت حصل مجهر القوة الذرية على أداته القابضة.



الشكل (٦) المعالج الجزيئى

المعالج الجزيئى (طرف مجهر القوة الذرية وماسك الأداة، أعلاه) يقوم بمسك الأداة الجزيئية المتفاعلة وتحديد موضعها، بهدف تخليق قطعة الشغل بوضع جزىء بجوار آخر

وعلى التوازى، عكف باحثو مجهر القوة الذرية بجامعة (بروبدينجانج) على وضع أطراف الأجهزة فى مكان دقيق، ثم تثبيتها فى ذلك المكان بدقة على المستوى الذرى لمدة ثوانٍ فى كل مرة. وثبت أن ذلك الأسلوب ناجح تمامًا. واستخدموا تقنيات طورت فى مكان آخر فى أوائل تسعينيات القرن العشرين، وأدخلوا عليها القليل من التعديلات.

الآن حصلوا على (أداتهم القابضة) وطريقة وضعها، حيثما يريدون، غير أنهم احتاجوا إلى طقم من تلك الأدوات. وكانت تلك القابضة تشبه قابض لُقَم المِثْقب الذى ينتظر لقمًا مختلفة لتثبيتها داخل شق فكيه القابضين. ثم فى الخطوة الأخيرة، صنع الكيميائيون التركيبيون بالفريق العديد من أدوات جزيئية مختلفة، كلها متماثلة من طرف واحد ومختلفة من الطرف الثانى. وتلك الأجزاء المتماثلة مصممة لتركب داخل نفس ماسكة الأداة الجسيمية المضادة، وذلك بتثبيتها فى مكانها بدقة تامة. وكل الأجزاء المتباينة كانت متفاعلة كيميائيًا بطرق مختلفة، ومثلها مثل الأدوات الجزيئية الموجودة فى قاعة أذرع التجميع التى شرحناها فى الفصل الثالث، يمكن لكل أداة من تلك الأدوات استخدام تفاعل كيميائى لنقل بعض الذرات إلى جسيم جزيئى يجرى تركيبه.

كان تطوير طقم الأدوات أصعب جزء فى مشروع تطوير العدد والأدوات الجزيئية، وقد احتاج ذلك إلى وقت لا يقل عما انقضى فى استنساخ أو مُضاعفة سم اللقاحات أو الأبواغ الذى تم فى ثمانينيات القرن العشرين. ولم تتطلب أىّ من مهام المشروع حل لغز علمى عويص، كما لم يتطلب أى منها حل أى مشكلة هندسية مستعصية الحل. كل مهمة كان لها حلول ممكنة كثيرة، وكانت المشكلة هى العثور على مجموعة منسجمة من الحلول ثم تطبيقها. وبعد بضع سنوات، جاءت الحلول مع بعضها البعض، وبدأ الفريق البحثى بجامعة (بروبدينجانج) تركيب جزىء جديد بواسطة معالج جزيئى. والآن تقوم فرق بحثية كثيرة بنفس هذا العمل.

التركيب بواسطة القابضات والأدوات الجزيئية

لتركيب أى شيء بواسطة جهاز المعالج الجزيئى المعتمد على مجهر القوة الذرية الذى استخدمه الفريق البحثى بجامعة (بروبدينجانج)، عليك باستخدامه على النحو التالي: أولا، اختر سطحًا للتركيب عليه، ومكانًا تحت طرف الجهاز داخل حوض به سائل. ثم اغمس طرف جهاز مجهر القوة الذرية فى السائل، وأعده إلى السطح، ثم اغمسه قليلا. الآن يمكنك البدء فى التركيب بمجرد تثبيت أداة فى القابضة.

يمكن للأنابيب والمضخات إمرار سوائل متباينة فوق سطح التركيب وحول القابضة التى تحمل أدوات جزيئية مختلفة. وإذا أردت أن تفعل شيئًا بأداة من النوع (A)، فعليك بغمسها فى السائل الصحيح، والجزىء من النوع (A) يلتصق بسرعة بالقابضة كالمبين بالشكل (٦). وبمجرد ثباته فى القابضة، يمكنك استخدام جهاز مجهر القوة الذرية لتحريكه هنا وهناك ووضعه فى المكان الذى تريده له. حركه إلى أعلى إلى السطح عند بقعة مناسبة وانتظر لبضع ثوانٍ، وسوف يتفاعل مكونًا رباطًا وتاركًا جزءًا من الجزىء ملتصقًا بالبقعة التى اخترتها. ولإضافة جزءًا صغيرًا مختلفًا، يمكنك استخدام أداة من النوع (B)، وعندئذ أرجع الطرف إلى الخلف وادفق سائلا جديدًا يحمل الأدوات الجديدة، وبعد لحظة تركب أداة من النوع الجديد فى المكان الصحيح وتصبح جاهزة للاستخدام، سواء على البقعة الأولى أو بجوارها وهكذا تقوم خطوة بخطوة بتركيب جزىء كامل.

كل خطوة تستغرق بضع ثوانٍ فقط. وتظهر الأدوات الجزيئية فى القابضة فى جزء من القابضة، وتظهر الأدوات المستخدمة بنفس المعدل. وبمجرد إمساك طرف الجهاز لجزىء، فإنه يتفاعل بسرعة تبلغ مليون مرة قدر سرعة التفاعلات غير المطلوبة فى مواقع أخرى. وبهذه الطريقة يتمكن المعالج الجزيئى من التحكم الجيد فى أماكن حدوث التفاعلات (على الرغم من أن هذه الطريقة ليست بنفس موثوقية المُجَمِّع المُتطوِّر). إنَّ هذا الجهاز سريع نسبيًا بمقاييس الكيميائى - أى فى الدورة الواحدة -

ولكنه مازل أبطأ بمليون مرة من المُجمع المتطور. ويمكنه القيام بالعديد من الخطوات، لكنه ليس مرنًا وفعالا مثل المجمع المتطور. وباختصار، إنه ليس بالقطع القول الفصل فى التكنولوجيا النانوية، غير أنه يُعد تقدمًا كبيرًا عن كل شئ سابق له.

المنتجات

جهاز المعالج الجزيئى الذى استخدمه الفريق البحثى بجامعة (بروبدينجانج) يتميز بقدرته على تسريع التفاعلات بمليون مرة أو نحو ذلك، وعلى ذلك، يمكنه القيام بحوالى١٠،٠٠٠ - ١٠٠،٠٠٠ خطوة بدرجة موثوقية جيدة. وإذا رجعنا إلى ثمانينيات القرن العشرين، لوجدنا أن الكيميائيين الذين كانوا يصنعون جزيئات بروتينية لتنفيذ حوالى ١٠٠ خطوة فقط. أما الفريق البحثى بجامعة (بروبدينجانج) (وكل الفرق التى سارت على نهجه) يمكنه الآن صنع تركيبات أقوى وأسهل فى تصميمها من البروتينات، بمعنى أنها ليست سلاسل مطوية لينة، وإنما هى جسيمات متينة ممسوكة ببعضها البعض، بواسطة شبكة قوية من الروابط. ورغم أنها ليست قوية وكثيفة مثل الماس، فإن تلك التركيبات تشبه لقمًا بلاستيكية هندسية متينة. وهناك برنامج مفيد للتصميم بمساعدة الحاسوب يُسهِّل تصميم الجسيمات المصنوعة من تلك المواد.

غير أن جهاز المعالج الجزيئى المعتمد على مجهر القوة الذرية له عيب خطير، فهو ينفذ الكيمياء جزيئًا واحدًا بعد آخر. وهو عبارة عن جهاز مرتفع الثمن مثل سيارة، تحتاج إلى ساعات أو أيام لإنتاج جزئ كبير واحد. والحقيقة أن بعض الجزيئات لها قيمة عالية، بحيث يمكن أن يتم صنعه واحدًا بعد آخر. وتلك الجزيئات تحتاج إلى اهتمام عاجل بها.

والجزئ الواحد ليس بالطبع فى أهمية صبغة أو دواء أو شمع للأرضية، ولكن تصبح قيمته كبيرة للغاية إذا زودنا بمعلومات مفيدة. ولذلك أسرع الفريق البحثى

بجامعة برويدينجانج) بنشر ملف كبير من الأبحاث العلمية المعتمدة على تجارب على جزيئات وحيدة. إنهم يصنعون جزيئًا ثم يتفحصونه ويبلغون عن نتائجه ثم يصنعون غيره. وبعض تلك النتائج تُبيِّن للكيميائيين فى أى مكان، من العاملين بصناعات كيميائية تبلغ قيمتها عشرات البلايين من الدولارات، كيف يصممون مُحَفِّزات جديدة، وهى جزيئات تساعد على تكوين جزيئات أخرى بطريقة أقل تكلفة وأكثر نظافة وأعلى كفاءة. وبالطبع هذه المعلومة تقدَّر بالكثير.

هناك ثلاثة منتجات ذات أهمية خاصة، تعتبر ضمن أول منتجات يراد صنعها. الأول - الإلكترونيات الجزيئية - تبدأ بتجارب تُجريها مجموعة من الباحثين بشركة تنتج رقاقات الحواسيب. يستخدم هذا الفريق معالجاتهم الجزيئية لصنع جزيئات منفردة ثم يتفحصونها، ويتعلمون تدريجيًا كيف يصنعون الأجزاء اللازمة للحواسيب ذات الإلكترونيات الجزيئية. ولكن تلك الحواسيب الجديدة لا تصبح على الفور عملية، لأن تكلفتها عالية للغاية بحيث لا يتيسر استخدام تكنولوجيا مجاهر القوة الذرية لصنع تلك الجزيئات الكبيرة. بيد أنَّ بعض الشركات بدأت تنتج أدوات إلكترونية جزيئية بسيطة لاستخدامها فى المجسات المعالجة المتخصصة للإشارات عالية السرعة. وهكذا نرى أنَّ صناعة متميزة قد وُلدت وبدأت تتوسع.

المنتج الثانى هو قارئة الجينات، وهى أداة جزيئية معقدة تُنشأ على سطح رقاقة إلكترونية. وقد جَمَعَ علماء البيولوجيا الذين صنعوا القارئة بروتينات أخذوها من الخلايا بواسطة أجهزة جزيئية جديدة تمامًا ذات غرض خاص، أى صُمِّمت من لا شىء معروف من قبل. وكانت النتيجة منظومة جزيئية تربط جزيئات (دنا) DNA ويدفعها أمام شريط (يشبه رأسا قارئا) يلف داخل مُسجِّل شريطى. وتعمل تلك الأداة بسرعة هائلة مثل سرعة بعض الأجهزة الجزيئية الموجودة فى الطبيعة التى تقرأ (دنا)، ولها ميزة رئيسية، فهى ترسل نتائجها إلكترونيًا. وعند تلك السرعة، يمكن لأداة واحدة قراءة

الجينوم البشرى كله فى حوالى عام. ورغم أن تلك القارئات مازالت باهظة الثمن، بحيث يتعذر استخدامها فى عيادات الأطباء، فقد ازداد الطلب عليها من مختبرات الأبحاث. وهكذا وُلدت صناعة صغيرة أخرى.

وثمة منتج ثالث أكثر أهمية مما سبق على المدى الطويل، وهو استبدال أطراف المعالجات الجزيئية والقابضات والأدوات، على أن تكون أفضل من الأصلية. وبتلك الأدوات الجديدة ذات المزيد من الاستخدامات، يمكن الآن للباحثين صنع منتجات وأدوات أكثر طموحاً.

سيناريو آخر: الخطوة التالية إلى التكنولوجيا النانوية

بينما كان الفريق البحثى بجامعة (برويدينجانج) الذى يقوده الفيزيائيون يُنهى عمله فى المعالج الجزيئى المعتمد على مجهر القوة الذرية، كان فريق آخر يقوده الكيميائيون بجامعة (ليليبوت) يعكف على نفس هذا العمل بكل همة ونشاط. لقد رأوا جهاز جامعة (برويدينجانج) المكتبية، ووجدوا أنها بالغة الضخامة، كما أن منتجاتها المتوقعة مرتفعة الثمن للغاية. وحتى لو رجعنا إلى ثمانينيات القرن العشرين، لوجدنا أن "ديفيد بيجلسن"، من مركز (بالو ألتو) للأبحاث بشركة (زيروكس) قد صرح بقوله: "العيب الرئيسى الذى أراه فى استخدام مُجمِّع هجينى بدائى (أى المعالج الجزيئى المعتمد على مجهر القوة الذرية) هو أنه يحتاج إلى وقت طويل جداً لصنع وحدة واحدة فقط. الصُنع يحتاج إلى سلسلة من خطوات التركيب ذرة تلو الأخرى. والأفضل أن يتم الصنع على التوازى من البداية، بحيث يمكن صنع تريليونات من تلك الجزيئات فى نفس الوقت. وأنا أعتقد أن التجميع على التوازى طاقة هائلة. ولعل مجالا علمياً آخر، مثل الكيمياء أو علم البيولوجيا، يطرح طريقة أفضل لعمل ذلك". وهدف الكيميائيون

بجامعة ليل، بالفعل، إلى تطوير تلك الطريقة الأفضل، وتمكنوا بالفعل من صنع أول الأجهزة الجزيئية البسيطة، ثم لم يلبثوا أن صنعوا الأجهزة الجزيئية الأكثر والأكثر تعقيداً. وكانت النتيجة النهائية هى مُجمِّع جزيئى بدائى قادر على صنع تريليونات من الجسيمات الجزيئية.

أدوات الكيميائيين

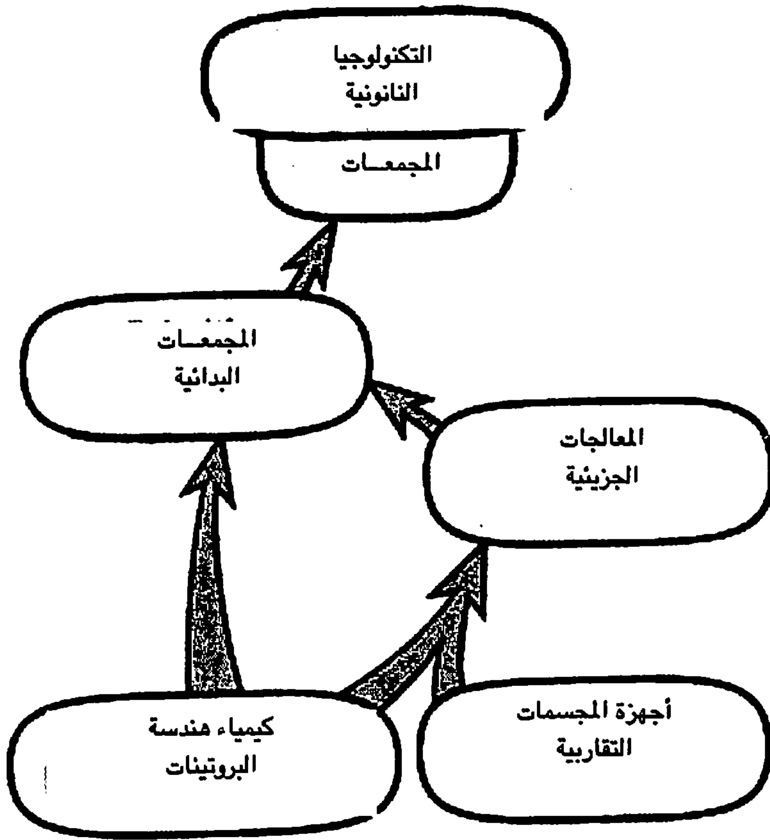
كيف يمكن للكيميائيين تحقيق ذلك؟.. عبر السنين، عندما كان الفريق البحثى بجامعة (بروبدينجانج) يطوِّر المعالج الجزيئى، نجح الباحثون فى علم البروتينات والكيمياء التركيبية فى صنع منظومات أفضل وأفضل من وحدات البناء الجزيئية. وكان الكيميائيون جاهزين تمامًا لتنفيذ ذلك، فقبل نهاية ثمانينيات القرن العشرين، أصبح بإمكانهم صنع جسيمات مستقرة بحجم جزيئات البروتينات متوسطة الحجم، وبدأ العمل يُركِّز على جعل تلك الجزيئات تقوم بعمل مفيد، وذلك بربط وتعديل جزيئات أخرى. لقد تعلم الكيميائيون كيف يستعملون تلك المحفزات المتطورة - وهى أدوات جزيئية أولية - لجعل عملها نفسه أسهل، بمساعدتها فى صنع جسيمات تتكون من جزيئات أكبر بكثير.

كانت هناك أداة تقليدية أخرى للكيميائيين هى برمجيات تنفيذ تصميمات بمساعدة الحاسوب. وأدى أخيراً تصميم البرمجيات الأولية بمعرفة "جاى بوندر" و"فريدريك ريتشارد" من جامعة ييل إلى صنع أدوات نصف آلية لتصميم جزيئات لها حجم معيَّن أو وظيفة محددة. ثم قام الكيميائيون بسهولة بتصميم جزيئات تتجمع ذاتيًا لتشكِّل تركيبات أكبر تصل أبعادها إلى عشرات النانومترات.

أجهزة التركيبات الجزيئية

أدت تلك التطورات فى البرمجيات الحاسوبية والتركيبات الكيميائية إلى قيام الفريق البحثى بجامعة ليل بمهمة صنع شكل بدائى من المُجمِّع الجزيئى. وعلى الرغم من أنهم لن يتمكنوا من صنع شيء معقد كحاسوب نانوى أو صلب كماسة، فهم لم يكونوا فى حاجة إلى ذلك. استخدم تصميمهم قضبان جزيئية منزلقة لوضع القابضة الجزيئية فى مكانها، بالضبط مثلما فعل باحثو جامعة (بروبدينجانج) بقابضتهم، واستخدموا مرة أخرى السائل المحيط بها للتحكم فى الأداة التى ستمسكها القابضة. وبدلا من وسائل التحكم الإلكترونية بمجهر القوة الذرية، استخدموا أيضًا السائل المحيط للتحكم فى وضع القضبان. وفى محلول متعادل (أى لا حمضى ولا قاعدى) تنسحب القضبان، أما فى محلول حمضى فإنها تمتد. وتتوقف المسافة التى تتحركها على دخول أو تبييت الجزيئات الأخرى المجاورة فى جيوب خاصة لإعاقة حركة القضبان.

صنعت مجمعاتهم البدائية بالضبط نفس أنواع المنتجات التى صنعها المعالج الجزيئى الذى استخدمه الفريق البحثى بجامعة (بروبدينجانج)، وكانت الأدوات متماثلة تمامًا، أما السرعة والدقة فكانتا متقاربتين. ومع ذلك، كانت هناك ميزة مثيرة هائلة: إذ إنَّ بليون بليون بليون مُجمِّع لجامعة ليل شغلت نفس الحيز الذى شغله معالج جزيئى واحد لجامعة (بروبدينجانج)، كما كان من السهل إنتاج ١٠٠٠ بليون بليون مرة من نفس المنتج وبنفس التكلفة.



(الشكل ٧): مسارات إلى التكنولوجيا النانوية

في وجود أول معالج جزيئي بدائي، كان التخليق الكيميائي بطيئًا لأن كل خطوة احتاجت إلى أحواض من السائل وتغطيس طرف الجهاز فيه لثوانٍ كثيرة ثم الانتظار، والمنتج العادي يحتاج إلى آلاف من الخطوات. ومع ذلك، فقد حصل فريق جامعة ليل

على ثروة كبيرة من ترخيص تكنولوجياتهم للباحثين الذين يحاولون إنتاج منتجات تجارية كانوا جربوها من قبل بجهاز جامعة (بروبدينجانج). وعقب إنشاء شركة مستقلة (هى شركة الصانعون النانويون) بدأوا يوجهون جهودهم البحثية تجاه صنع أجهزة أفضل. وفى غضون بضع سنوات، صنعوا مجمعات ذات قابضات متعددة، كل منها مُحملٌ بنوع أداة مختلف، حيث تعمل ومضات ضوئية ملوَّنة على تحويل الجزئيات من حالة ما إلى حالة أخرى (لأنهم قلَّدوا تلك الجزيئات من صبغات شبكية عين الإنسان). والجزيئات المتحولة تُغيِّر أدواتها وتُغيِّر من وضع قضبانها. وهكذا أصبح التغطيس والانتظار شيئًا من الماضى، وأصبحوا يصنعون أجزاء عند خلطها بالماء وإضافتها إلى أطباق بها رقاقات فارغة خاصة، سوف تُكوِّن طبقات ذاكرة كثيفة تجعل فكرة مكتبة الجيب أمرًا ممكنًا من الناحية العملية.

عندئذ، بدأت الأشياء تتحرك بمعدَّل أسرع عن ذى قبل. إذ اتجهت صناعة الترانزستورات إلى اتجاه صنع الصمامات المُفرَّغة.

واستقطبت التكنولوجيا الجديدة، الأموال لاستثمارها وأهل الخبرات والمواهب الخاصة. ولم تلبث الأدوات الجزيئية المصممة بمساعدة الحاسوب أن أصبحت أفضل، وسهلت المُجمِّعات من مهمة صنع ما يتم تصميمه، وأدى الإنتاج والاختبار السريعان إلى جعل الهندسة الجزيئية فى نفس سهولة التعامل مع البرمجيات الحاسوبية. وهكذا أصبحت المُجمِّعات أفضل وأسرع وأرخص. واستخدم الباحثون المجمعات لصنع الحواسيب النانوية، ثم استخدموا تلك فى التحكم فى صنع مُجمِّعات أفضل من سابقتها. والحقيقة أنَّ استخدام أدوات ما فى صنع أدوات أفضل منها قصة قديمة جداً. وفى غضون عشر سنوات، سوف يمكن صنع كل شىء تقريبًا من خلال هندسة الجزيئات الواعدة.

لكن تُرى هل ستحدث التطورات فى أيام ما قبل الإنجاز العلمى الكبير كما وصفناها؟.. بالطبع لا، فالمدخل والأساليب الفنية سوف تختلف، كما أن مواقف أو

ظروف البحث الأكاديمى بالولايات المتحدة الأمريكية التى أشرنا إليها فى السيناريو الذى طرحناه يمكن استبدالها بسهولة بأى مواقف أكاديمية أو تجارية أو حكومية أو عسكرية جديدة فى أى واحدة من الدول المتقدمة. وما يبدو لنا واقعياً هو ضرورة الوفاء بالاحتياجات الخاصة بالجهود والتكنولوجيا والوقت وأيضًا الإمكانات الأساسية للأدوات والأجهزة المتباينة. إننا نقترب الآن من بداية القدرة أو الإمكانية التى تكون بعدها التطورات والتقدمات العلمية أكثر سهولة وسرعة.

الفصل السادس

العمل وفقا للتكنولوجيا النانوية

تأتى كلمة "Manufacturing" من الكلمة اللاتينية (Manu fatus) أى "مصنوع يدويًا" واليوم تعنى هذه الكلمة تشغيل صخّاب لمجموعة من الأجهزة تُشكل منتجات وتطلق عوادم. والاستغناء عن المنتجات المصنعة ليس سهلاً أو عمليًا، إذ إنّ كل شيء تقريبًا نستعمله الآن مُصنّع. وإذا قدر لكل المنتجات الصناعية أن تختفى فجأة، فإن معظم الناس فى بلدان العالم لن يجدوا ملبسًا ولا منزلاً يأوون إليه، ولن يجدوا حولهم إلا القليل جدا من الأشياء. والواقع أنّ توسيع نطاق التصنيع أحد أهداف كل دولة تقريبًا على سطح الأرض.

إننا لن نستطيع الاستغناء عن الصناعة، غير أننا يمكن أن نستبدل بتكنولوجيات اليوم أخرى مختلفة تماما عنها. التصنيع الجزيئى يمكن أن يساعدنا فى الحصول على ما نريده: منتجات عالية الجودة وبتكلفة قليلة مع عدم الإضرار بالبيئة. وسوف يتناول الفصل الثانى عشر المشاكل الخطيرة التى يثيرها سوء استخدام أو تطبيق هذه الإمكانيات، ولكننا فى الوقت الحالى سوف نتناول الجوانب الإيجابية فقط.

ما يلى هو استكشاف ما هو ممكن، أى نلقى نظرة على الأدوات التى يمكن صنعها بمجرد تحقيق عملية التحكم الجزيئى الدقيق، ونظرة على كيف يمكن للناس تشغيل مشروع صناعى معتمد على الأجهزة النانوية. حاول عزيزى القارئ ألا تفكر فى

تلك التصورات باعتبارها تنبؤات صارمة أو جدية، تبين كيف سيتم عمل الأشياء بدقة، ولكن بدلا من ذلك تأملها باعتبارها وصفًا للإمكانات، أى أنواع الأشياء التى يمكن عملها بمجرد البدء فى تطبيق التكنولوجيا النانوية عمليًا. وبلا شك، ستكون هناك طرق أخرى لعمل الأشياء بشكل أفضل من الطرق التى نصفها هنا. وكالعادة فإنّ إشاراتنا إلى ثمانينيات القرن العشرين وما قبلها صحيحة من الوجهة التاريخية، ولكن فى غير ذلك فإنّ العلم لم ولن يكون خيالاً قط.

سيناريو: شركة وردة الصحراء

شركة وردة الصحراء الصناعية هى شركة تصنيع بالجملة تنتج أنواعًا متباينة من الأثاث والحواسيب واللعب وأجهزة الترفيه بما يكفى لأى مدير فى القرن العشرين أن يعتبرها مفخرة لهذا العصر. ولكنك إذا جمعت كل الموظفين بشركة وردة الصحراء أمام مقر الشركة، فلن ترى سوى كارل وماريا سانتوس، وهما يقفان بجوار منزل بحجم أربع حجرات نوم. وهذا العملاق الصناعى مثال ممتاز للشركات الأسرية (التى يعمل فيها الأب والأم معًا) التى يساعدها شبكة من مباشرى العمل من منازلهم الذين يقومون بعمليات البيع والمساندة للعملاء من منازلهم المنتشرة عبر أرجاء أمريكا الشمالية.

يوبخ الأصدقاء كارل وماريا باعتبارهم "تقليديين وينتمون للماضى" ويغيظون ماريا بأنها تترك زوجها كارل فى المصنع بينما تسافر هى إلى أوروبا وآسيا وأمريكا الجنوبية وأفريقيا لمناقشة أعمال تجارية جديدة لشركتها. وفى مهنة التصنيع الجزيئى تعتبر الخبرات والمهارات الشخصية والقيم ـ مثل الأمانة والدقة وحسن الاتصالات ـ مهمة كما كانت دائمًا. وتحب ماريا العمل مع العملاء. وتستعين بدرجة البكالوريوس

الحاصلة عليها فى التصنيع الجزيئى من معهد ماساشوسيتس للتكنولوجيا ودرجة الماجستير فى الفنون الجميلة الحاصلة عليها أيضا فى التصميم، ونجحت فى مساعدة المصممين الجدد العصبيين، بصبر وأناة أثناء أول خبرة صناعية لهم. وهى تتميز باللطف والكياسة وحسن الخلق، وتتعامل مع الطلبيات العاجلة والتغييرات التى تحدث فيها فى آخر اللحظات وكذا الطلبيات الخاصة، وكل ذلك بلا أى كلل أو فتور. وأكسبت أفكار ماريا التصميمية الجيدة واهتمامها الشخصى بعملائها سُمعة طيبة، باعتبارها تستجيب جيداً لطلبات عملائها. وكارل يتسم بالدقة والعناية، ولذلك نجحا فى تثبيت اسميهما فى مجال التصنيع الدقيق والتسليم فى المواعيد المتفق عليها بالضبط.

وباستثناء عادة كارل من عزف موسيقى الجاز لجيرشفين(١) بصوت عال والنوافذ مفتوحة على مصراعيها، فإن الأصوات الوحيدة التى يسمعها المرء فى موقع وردة الصحراء هى زقزقة الطيور على ضفتى الجدول الذى يشق طريقه الملتوى فى جنابات الوادى الضيق، إذ لا توجد هنا أى آليات تطن بالمرة. وقد أنشأ والدا ماريا شركة وردة الصحراء هنا فى مكان مصهر(٢) قديم يبعد أميالاً كثيرة عن أقرب سكان مقيمين. وقد اهتما بالأرض ونظفاها من كل النفايات، وتمكنت ماريا من تعديل معالج جزيئى لتحويل ملوثات المعادن الثقيلة وشوائبها إلى معادن مستقرة مرة أخرى، وشحنها بعد ذلك إلى منجم مكشوف الحُفرة. واستعادت الصحراء عافيتها تقريبا الآن، وتنتشر بعض الأشجار المتينة على طول الجدول من جديد.

عملاء جدد يأتون من الطريق لإلقاء نظرة على عمليات التصنيع هناك، ثم لا يلبثون أن يقوموا بالرحلة كاملة، بدءا من حجرة الإجتماعات والطعام، ومروراً بمكتب ماريا ومصنع التصنيع ثم مستودع تخزين قطع الغيار والمنتجات بمؤخرة الشركة. و"المصنع" هو أكبر الحجرات وموضع فخر كارل. يوجد اثنا عشر حوض تصنيع وأنظمة تبريدها ـ أوعية ضخمة يتراوح حجمها من حوض المطبخ إلى حمام سباحة

---

(١) الأمريكى جورج جيرشون (1898-1937) الملحن وعازف البيانو الشهير. (المترجم)

(٢) مكان صهر المعادن. (المترجم)

صـغير - في المكان الذي تستخدم فيه شركة وردة الصحراء الحواسيب النانوية والمجمعات لتنفيذ أعمال تصنيعها. وتمتد تركيبات من السباكة من أنابيب وتوصيلاتها... إلخ بين الأحواض وثلاثة صفوف من أوعية ملصق عليها بطاقات مثل (مخزون سلعي من الكربون) و(بلاتين جاهز) و(ألياف إنشائية حجم٤) و(محركات كهربائية مُجددة).

ويحتفظ كارل بمخزون كافٍ من قطع الغيار والمواد الخام المتاحة قيد التناول، مع وجود المزيد منها بالمستودع تحت الأرض. وبالطبع لا يتم تقريبا استخدام بعض الأشياء النادرة، ولكن تجهيزها في المتناول يُعد أحد أسرار كارل لتسليم المنتجات في مواعيدها والتصنيع الدقيق طبقا للمواصفات. وتوجد منضدة عليها منظومة كارل الموسيقية والحواسيب - وهي من سلالة الحواسيب الشخصية التي تنتجها شركة (IBM) ومنظومات ماكنتوش التي ظهرت في ثمانينيات القرن العشرين - التي تُستخدم لتنفيذ عمليات التصنيع. وفي حيز يعادل تقريبا حجم غرفة معيشة كبيرة، يتوفر لكارل وماريا كل الخامات والمعدات الإنتاجية - أي الحواسيب النانوية والمجمعّات - التي يحتاجونها لصنع أي شيء تقريبًا.

ومن وقت إلى آخر، يحتاج كارل وماريا خدمات توفرها أدوات وأجهزة متخصصة، مثل مفاتيح الفكّ الجزيئية (أجهزة تفكيك الجزيئات) التي لا توجد إلا في المختبرات. ويعمل مفتاح الفكّ الجزيئي كعالم الآثار، حيث يحفر بمثابرة في تركيبة الجزيء وينزع منه ذرة تلو أخرى، بُغية تسجيل التركيب الجزيئي وتحليله. ولأنها تعمل ببطء شديد وتسجل موضع كل جزيء، فإن مفاتيح الفكّ الجزيئية لا تستخدم في عمليات إعادة التدوير، لأن ذلك سيكون مكلفًا جدًا وغير مُجد في تسجيل كل تلك البيانات غير المطلوبة. ولكن باعتبارها أدوات لتحليل ما نجهله، فإنها لا يوجد نظير لها.

اكتشفت ماريا ذلك الأمر، عندما أرسل لها أحد العملاء طلبية بأثاثات وتركيبات (تفوح منها رائحة الأجواء الإستوائية) لطعمه، ولكن بدلا من أن يتضمن الطلب تعليمات البرمجيات لصنع تلك الرائحة، وجدت ماريا كيسًا بلاستيكيًا ممتلئًا بمادة راتينجية سمراء اللون لزجة وحادة الرائحة وقصاصة ورق تقول: "لقد حصلت على هذه المادة من المنطقة الاستوائية، والرجاء جعل النسيج تفوح منه هذه الرائحة". وبعد أن شمت ماريا المادة الراتينجية وتأكدت – لشدة دهشتها – من أن رائحتها استوائية جيدة، شحنت تلك العيِّنة إلى المختبر لتحليلها كيميائيًا بواسطة مفتاح الفكّ الجزيئي. وأرسل لها المختبر برمجيات تحتوى على الوصف الجزيئى لتلك المادة وتعليمات كيفية إضفاء رائحتها على الأثاث المطلوب.

عادة مايضع كارل جداول زمنية للإنتاج فى غاية الدقة، وكل وعاء كبير تقوم المجمعات الجزيئية بصنع المنتجات، وكل حاسوب يوجه العمل المطلوب.. ولكن فى هذا الصباح، استمع كارل لنبرات صوت ماريا وهو ينطلق برقة وسلاسة خلال الهواء من مكتبها ولم يلبث أن غيَّر من خططه. إذ لابد أن شيئًا مهمًا على وشك الحدوث. وأجَّل طلبات تصنيع أوراق الحائط الملونة وكرات البيسبول الماسية التذكارية، كما أجَّل ثلاثة أحواض وحاسوبًا جاهزًا، وبعد دقائق، أسرعت ماريا إليه وقالت بصوت مرتعش ومتوتر: "كارل، هذا الزلزال فى الجنوب.. إنهم يحتاجون للمساعدة. . (أماندا) فى هيئة الصليب الأحمر ترسل لنا برمجيات حاسوبية الآن".

ولصنع منتج ما، فإن شركة وردة الصحراء تحتاج إلى تعليمات تصنيع، أى برمجيات حاسوبية للمجمعات. وكارل ومارى لهما مكتبة البرمجيات الخاصة بهما، لكنهما عادة ما يشتريان أو يؤجران ما يريدانه أو يرسل لهما العملاء تصميماتهم الخاصة بهم.

تحتوى البرمجيات التى ترسلها أماندا على مواصفات الطوارئ لتصنيع معدات، وهى مجموعة من التعليمات يُشغلها حاسوب مكتبى قياسى. وخلال دقائق، تصل نسختان من برمجيات الصليب الأحمر إلكترونيًا. وقبل بدء التصنيع يتفحصهما كارل بدقة وحذر، بالغين للتأكد من أن النسخة الأصلية تتفق تمامًا مع النسخة الاحتياطية وأنهما لم يتلفا أثناء نقلهما. فإذا كانت التعليمات كاملة وصحيحة وموقعًا عليها بخاتم هيئة الصليب الأحمر، فعندئذ، ينقل الحاسوب المكتبى بيانات هذه مباشرة إلى ملايين الحواسيب الصغيرة التى تعمل كملاحظى عمال يوجهون العمل، إنها الحواسيب النانوية.

الحواسيب النانوية

بينما كانت المجمعات البدائية يتم التحكم فيها بتغيير الجزيئات الموجودة فى المحلول حول الجهاز، فإن الوصول إلى السرعة والدقة المطلوبين للتصنيع على نطاق واسع يحتاج إلى حسابات صعبة. ولذلك تستخدم منظومة كارل معالجات جزيئية ذات أغراض خاصة ومُجمِّعات عامة الاستخدامات، وكلها يتم التحكم فيها والتنسيق فيما بينها وبين بعضها البعض بواسطة حواسيب نانوية.

فى تسعينيات القرن العشرين، كانت الحواسيب تستخدم إلكترونيات مجهرية تعمل بتحريك شحنات كهربائية جيئة وذهابًا خلال مسارات توصيل - تحديداً أسلاك - تُستخدم لوقف وفتح تدفق الشحنات فى مسارات أخرى. ولكن مع التكنولوجيا النانوية تصنع الحواسيب من إلكترونيات جزيئية. ومثلها مثل حواسيب التسعينيات من القرن العشرين، فإنها تستخدم إشارات إلكترونية تتحرك لتشكل الأنماط للمنطق الرقمى.

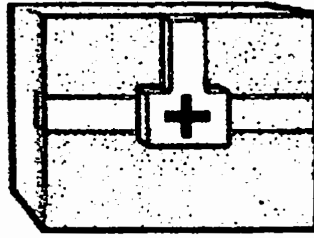
ولكن لأنها مصنوعة من مكونات جزيئية، فإنها مصنوعة بمقاسات أصغر بكثير عن تلك المستخدمة فى حواسيب التسعينيات من القرن العشرين، كما أنها أسرع وأكثر كفاءة منها. وبمقياس عالم محاكاتنا الجزيئية، فإن رقاقات حواسيب التسعينيات من القرن العشرين تشبه منظرًا طبيعيًا رحبًا، بينما الحواسيب النانوية تشبه مبانى منفصلة به. ويحتوى حاسوب كارل المكتبى على أكثر من تريليون حاسوب نانوى، أى ما يكفى ليتفوق على الحسابات التى تقوم بها كل الحواسيب الإلكترونية المجهرية التى أُنتِجَت فى القرن العشرين مجتمعة مع بعضها البعض.

ولو رجعنا إلى عصر الظلام فى ثمانينيات القرن العشرين لوجدنا أنّ مهندسًا استكشافيًا اقترح أن تكون الحواسيب النانوية ميكانيكية، وتستخدم قضبانا منزلقة بدلاً من الإلكترونات، كالمبين بالشكل(٨). وكانت تلك الحواسيب الجزيئية الميكانيكية أسهل فى تصميمها مما ستكون عليه الحواسيب الجزيئية الإلكترونية. وكانت تشكل مساعدة كبيرة فى الحصول على فكرة ما عما يمكن للتكنولوجيا النانوية أن تفعله.

وحتى فى هذا الوقت القديم، كان من الواضح تماما أنّ الحواسيب الميكانيكية سوف تكون أبطأ من الحواسيب الإلكترونية. وكان الحاسوب الشخصى الإلكترونى لكارل سيعتبر أمرًا لا يستحق الدهشة، على الرغم من أنّ أحدًا لم يكن يعرف كيف يصمم واحدًا مثله. وعندما وصلت التكنولوجيا النانوية بالفعل، وبدأ الناس يتنافسون لصنع أفضل حواسيب ممكنة، كسبت الإلكترونيات الجزيئية السباقات التقنية. ومع ذلك فإن الحواسيب النانوية الميكانيكية كانت ستؤدى كل الوظائف الحسابية النانوية بشركة وردة الصحراء، والطبيعى أن عمليات التصنيع الجزيئى اليومية ليس لها القول الفصل فى عالم الأداء الحاسوبى.

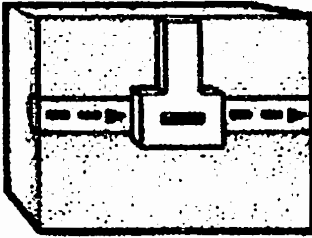
الترانزستور الإلكترونى
(نانومتر 5.00)

إشارة موجبة



التيار موقوف

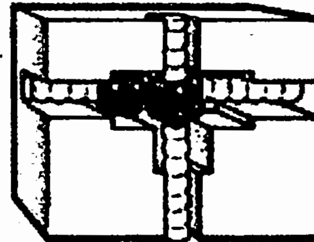
إشارة سالبة



التيار يتدفق

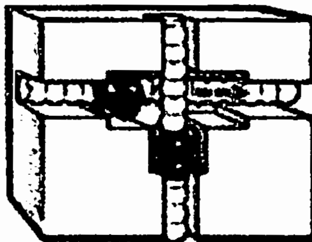
الترانزستور الميكانيكى
(نانومتر 2.5)

الإشارة إلى أعلى



القضيب موقوف

الإشارة إلى أسفل



القضيب يتحرك

الشكل(٨): الترانزستور الميكانيكى

الترانزستور الإلكترونى (بأعلى) يسمح بتدفق التيار، عندما تمر شحنة كهربائية سالبة، ويوقف مرور التيار عندما تمر شحنة موجبة. والترانزستور الميكانيكى (بأسفل) يسمح بحركة القضيب الأفقى، عندما يهبط القضيب الرأسى إلى أسفل، ويوقف حركة القضيب الأفقى عندما يتحرك القضيب الرأسى إلى أعلى. أىّ من الأداتين يمكن استخدامها لخلق بوابات منطقية وحواسيب.

بالنسبة إلى كارل، فإن ملايين من الحواسيب النانوية فى المحاليل الحليبية بأحواض التصنيع لديها مجرد امتدادات للأجهزة الموجودة على مكتبه، والتى تساعده على إنجاز عمله وتسليم المنتجات إلى عملائه، أو - فى حالة طوارئ الصليب الأحمر - للمساعدة فى توفير إمدادات طارئة فى الأوقات الحرجة. وبالمحافظة على تلك الأحواض الثلاثة المنفصلة، يمكن لكارل إما أن يصنع ثلاثة أنواع متباينة من المعدات للصليب الأحمر، وإما أن يستخدم كل تلك الأحواض لتنفيذ إنتاج الجُملة لأول شىء وارد بقائمة الصليب الأحمر، وهو ملاجئ الطوارئ لعشرة آلاف شخص. والبرمجيات جاهزة والأنابيب وتوصيلاتها جيدة، والبراميل ممتلئة لآخرها بمواد البناء، والخلطة الخاصة لهذه العملية تم تحميلها، أى إن كل شىء جاهز للبدء فى التصنيع. يقول كارل للحاسوب" ابدأ صنع خيام الصليب الأحمر" وعندئذ يتحدث الحاسوب إلى الحواسيب النانوية، التى لن تلبث أن تتحدث إلى المُجمعات فى كل الأحواض وعلى الفور، تبدأ عملية التصنيع.

تجميع المنتجات

بعض التصنيع الذى يتم بشركة وردة الصحراء الصناعية يستخدم مجمعات تشبه إلى حدٍ كبير تلك التى رأيناها فى القاعة الأولى للمصنع الذى زرناه، عندما قمنا بجولة فى عالم المحاكاة الجزيئية بمعرض وادى السليكون، وكما رأينا فى تلك المحاكاة، فقد كانت هناك أجهزة ضخمة وبطيئة تشغلها الحواسيب وتقوم بتشغيل أدوات جزيئية. ومع توفر التعليمات والآليات الصحيحة لاستمرارية تزويدها بالأدوات الجزيئية، فإن هذه المجمعات عامة الاستخدامات يمكنها صنع كل شىء تقريبًا. إلا أنها بطيئة وتستهلك طاقة كبيرة لتشغيلها. وبعض عمليات التصنيع هناك يستخدم منظومات مجمعات ذات استخدامات خاصة فى إطار معالجة الجزيئات، كالمنظومات الموجودة فى السرداب أو البدروم الذى رأيناه فى جولتنا التى تحاكى مصنع الجزيئات. والمنظومات

ذات الاستخدامات الخاصة كلها عبارة عن سيور متحركة وأسطوانات دوارة، وليس بها أى أذرع. وهذه المنظومة أسرع وأكثر كفاءة، غير أنّ هذه السرعة تقل أو تصبح محدودة، بسبب احتياجات التبريد للطلبيات ذات الدقة العالية.

من الأفضل استخدام وحدات تصنيع مُسبقة الصنع لأن ذلك أسرع. وهذه هى التى تستخدمها شركة وردة الصحراء فى معظم أعمالها، وخصوصًا للطلبيات العاجلة مثل تلك الطلبية التى أعطى كارل أمر تشغيلها لتوه. ومخزن الشركة تحت الأرضى به أوعية كبيرة بحجم الغرفة تحتوى على أكثر من ألف طن من مواد البناء الشائعة، وهى أشياء تشبه الألياف الإنشائية. وتُصنع تلك الأوعية بمصانع موجودة بالشاطئ الغربى وتُشحن إلى هنا بقطارات الأنفاق جاهزة للاستخدام. وتُصنع أنواع أخرى منها بالموقع باستخدام مجمعات ذات استخدامات خاصة. وبغرفة كارل الرئيسية توجد مجموعة من الصناديق الكبيرة بحجم الخزانات وتتصل كل منها بأنابيب التشغيل، وكل منها يسحب المواد الخام، ويمررها خلال هذا النوع من الآليات الجزيئية المتخصصة، ويخرج محلولا حليبيا من المنتجات. يحتوى أحد هذه المحاليل على محركات كهربائية، وآخر على حواسيب، وثالث ممتلئ بأدوات إضاءة مجهرية ذات مقابس كهربائية. وكل ذلك يُصَبّ داخل خزانات لاستخدامه لاحقًا.

والآن، يتم استخدام كل ذلك. والمزيج المستخدم فى صنع خيام الصليب الأحمر هى أساسًا ألياف إنشائية أقوى من المواد القديمة التى كانت تصنع منها السترات المقاومة للرصاص. كذلك تُستخدم وحدات بناء أخرى، تشمل المحركات الكهربائية والحواسيب وعشرات من قوائم الدعم الانضغاطية(٣) الصغيرة وسنادات قوسية (كتائف زاوية)(٤) وكذلك أدوات صغيرة كثيرة. ويبدو المزيج كما لو أنّ شخصًا ما قلب معًا عشرات من ألعاب الأطفال، إذا كانت الأجزاء كبيرة بما يكفى لاستخدامها. وفى الحقيقة، فالأجزاء الكبيرة لم تعد كونها بقعًا ضبابية، إذا نظرت إلى واحد منها بمجهر بصرى عادى.

---

3 - Struts.

4 - Angle Brackets.

كذلك يحتوى المزيج على مجمعات إيقاف تطفو بحرية مثل أى شىء آخر. وهذه الأجهزة ضخمة، تبلغ فى مشهد محاكاتنا حجم مكتب تجارى بالمعايير القياسية. وكل مجمع منها له أذرع مفصلية وقوابس[٥] ومقابس[٦] عديدة. وتقوم تلك الأدوات بأعمال الإنشاء الحقيقية.

للبدء فى التصنيع أو البناء، تصب المضخاتَ المزيج فى حوض التصنيع. وتكون حركات السقوط المستمر للأشياء المجهرية فى السوائل غير منتظمة على عملية بناء أى شىء كبير كخيمة، ولذلك، تبدأ مجمعات الإيقاف فى القبض على جيرانها. وخلال دقائق تلتصق فى صف لتشكيل إطار ينتشر خلال السائل. والآن بعد تثبيتها فى بعضها البعض، تقسم المهام فيما بينها وتبدأ العمل. وتصدر التعليمات إليها من الحاسوب المكتبى لكارل.

تستخدم مُجمعات الإيقاف قابضات[٧] لزجة لسحب أنواع معينة من وحدات البناء من السائل، وتستخدم أذرعها لربطها ببعضها البعض. ولأى عملية دائمة، فإنها تستخدم وحدات تلتصق ببعضها كيميائيًا على الدوام. ولكن بالنسبة إلى تلك الخيام المؤقتة، فإن تصميم الصليب الأحمر يستخدم مجموعة من وحدات الإيقاف القياسية التى يتم دمجها مع بعضها البعض بواسطة أدوات تثبيت عادية مُذهلة: إذ إن وحدات الإيقاف هذه، لها إنزيمات وقابسات مسامير ملولبة[٨]، وعلى الرغم من أنه بالطبع تكون الأجزاء مثالية ذريًا كما أن أسنان لولبة المسامير ذات صفوف من الذرات أحادية اللولبة والوصلات الناتجة تُضعف متانة الخيمة إلى حدٍ ما، ولكن من يهمه ذلك؟. والمواد الأساسية المُستخدمة أقوى من الفولاذ، حوالى مئة مرة، ومن ثم هناك قوة تتبدد لو أصبحت عملية التصنيع أكثر ملاءمة.

---

5 - Plugs.

6 - Sockets

7 - Grippers.

8 - Screw

أجزاء الألياف تُطبق على بعضها بعضًا لعمل أقمشة. وبعض تلك الأجزاء تحتوى محركات كهربائية وحواسيب تتصل ببعضها البعض بألياف تحتوى على كابلات الطاقة والمعلومات. وتُطبق السنادات القوسية على بعضها البعض ومعها المزيد من المحركات الكهربائية والحواسيب لتصنيع البنية الرئيسية للخيمة.

وتُصنع أسطح خاصة من وحدات بناء خاصة. ومن وجهة نظر بشرية، فإنّ كل خيمة عبارة عن إنشاء خفيف الوزن يتضمن أكثر وسائل الراحة والرفاهية التى تراها فى أى شقة، مثل أدوات الطهو وحمام وسرر ونوافذ وجهاز تكييف هواء، وهى مصممة خصيصًا لتناسب متطلبات البيئة السائدة فى دولة ضربها زلزال. ولكن من وجهة نظر البناء، خصوصًا من وجهة نظر الأجهزة النانوية، فإنّ الخيمة مجرد إنشاء من مجموعة من مئات الأشياء والأجزاء المُسبقة الصنع مُجمّعة مع بعضها البعض.

وخلال ثوانٍ تُجمع كل مُجَمّعة إيقاف بضعة آلاف من الأجزاء، وهكذا يتم الانتهاء من جزء من الخيمة. وفى الحقيقة ينتهى كل شىء، فالكثير من ملايين الأيدى تعمل عملاً خفيفًا. ويتأرجح مِرفاع بالخارج فوق الحوض ويبدأ فى رفع حزمات الخيم بعدما تتدفق الخلطات النقية.

بعدما شعرت ماريا بالقلق، رجعت إلى المصنع لترى كيف تسير عملية التصنيع. وقال لها كارل مطمئنًا إياها: "إن العمل يجرى الآن. انظرى إلى أول دفعة من الخيام وهى تخرج". وفى المخزن كانت البالة الأولى مُكدسة بالفعل فوق بعضها البعض توطئة لشحنها، فى خمس طبقات من حقائب رمادية اللون، وهى عبارة عن خيام جافة ومكدّسة للنقل. كارل يُمسك بخيمة منها من مقبضها ويجرها إلى خارج الباب، ثم يضغط على لسان موجود بأحد أركانها ومكتوب عليه "إفتح" ويستغرق الأمر دقيقة تقريبًا لكى تتفتح إلى إنشاء تبلغ أبعاده حوالى اثنتى عشرة خطوة. وهذه الخيمة كبيرة وخفيفة الوزن بحيث تطير فى الهواء مالم يتم تثبيتها بقوة فى الأرض. ويتحرك كارل وماريا فى داخل الخيمة ويختبران أجهزتها ويعاينان إنشاء الأثاثات، إذ إن كل شىء هنا خفيف للغاية بمقارنتها بالسلع التى كانت تنتج بالجملة فى تسعينيات القرن العشرين وهى متينة، ولكنها تكاد أن تكون مجوفة من الداخل.

كذلك الجدران والأرضيات، مثلها مثل الإنشاءات الأخرى، مُكتظة بمحركات صغيرة للغاية، وسنّادات قوسية تتحكم فيها حواسيب بسيطة مثل تلك التى كانت تستخدمها السيارات فى القرن العشرين، وبالإضافة إلى أجهزة تلفاز، وآلات لعبة الكرة والأهداف. وهى تنفرد وتنطوى من جديد. كما أنها تنثنى مُصدرة صوتًا يشبه مُكبر الصوت عالى الجودة، أو تمتص الصوت، بحيث تكتم الضجيج القادم من الخارج. والمنظومة كلها المكونة من ثلاث حجرات صغيرة وفعالة، وتبدو فى شكل متقاطع مابين قمرة مركب وحجرة بفندق يابانى رخيص. ولكنها من الخارج ليست أكثر كثيراً من صندوق. تهز ماريا رأسها وهى تعرف ما الذى يمكن للمهندسين المعماريين أن يفعلوه فى تلك الأيام حيث يحاولون جعل المبنى يتناغم تمامًا مع موقعه. وتفكر ثم تقول: "أوه، حسنًا.. أنها لن تُستخدم لفترة طويلة".

يقول كارل بارتياح ورضا: "حسنًا.. إنّ هذا يبدو جيداً جداً بالنسبة إلىّ.. وأعتقد أننا سوف ننتهى بعد ساعة أخرى".

ارتاحت ماريا وقالت: "يُسعدنى أنك تمكنت من تفريغ تلك الأحواض بهذه السرعة".

وقبل تمام الساعة الثالثة، كانا قد شحنا ثلاثة آلاف من خيام الطوارئ وأرسلاها بقطارات الأنفاق. وخلال نصف ساعة، بدأت عملية نصب الخيام بموقع الكارثة.

ما الذى يحدث وراء الستار وما الذى سيحدث فيما بعد؟

شركة وردة الصحراء الصناعية والشركات التصنيعية الأخرى، يمكنها صنع كل شىء تقريبًا بسرعة وبتكلفة منخفضة. ويشمل ذلك حفارات الأنفاق والمُعَدات الأخرى التى حفرت النفق الذى يستخدمونه الآن للشحن. والآن تتكلف عملية حفر نفق من الشاطئ إلى الشاطئ أقل مما تتكلف - عادة - عملية حفر ساحة واحدة تحت مدينة

نيويورك. ولم يكن من المكلف تركيب محطة نهائية للعبور العميق فى سردابهم. ومثلما أنّ الخيامَ ليست مجرد حزم من القماش السميك، فإن قطارات الأنفاق ليست عبارة عن صناديق معدنية بطيئة ترتج وتزعق وتصرخ. إذ إنها ترتفع قليلاً عن الأرض مغناطيسياً لتصل سرعتها إلى سرعة الطائرة - مثلما حدث للقطارات اليابانية التجريبية فى ثمانينيات القرن العشرين - مما يُسهل على كارل وماريا تقديم خدمة سريعة لعملائهما. وما زال هناك طريق يصل إلى المصنع، بيد أن أحداً لم يقد فيه شاحنة منذ سنوات طويلة.

إنهم فقط يتلقون المواد التى سوف يشحنونها أخيراً فى شكل منتجات، وهكذا لا يتبقّى شيء أو نفايات لتفريغها. أحد أركان المصنع ممتلئة بمعدات إعادة التدوير. وهناك دائماً أجزاء بالية يلزم التخلص منها، أو أشياء تلفت أو فسدت ويتعين إصلاحها أو تجديدها. وهذه الأشياء يتم تفتيتها إلى جزيئات أبسط ثم تُجمع مرة أخرى لعمل منتجات جديدة.

القذارة المتولدة فى أحواض التصنيع عبارة عن ماء مخلوط بجسيمات دقيقة جداً أصغر من الطمى. وتبقى هذه الجسيمات ـ وهى قابضات وحواسيب وغير ذلك ـ عالقة فى المحلول، لأنها تُغَلف بعبوات جزيئية تثبتها فى أماكنها. ويستخدم ذلك نفس مبدأ الجزيئات المُنَظفة التى تغلف جسيمات الاتساخات الزيتية، لكى تجعلها تطفو.

وعلى الرغم من أن مزيج الخيمة غير مُغذى ولا فاتح للشهية، فإنك لو شربته فلن تصاب بأذى أو ضرر. وبالنسبة إلى جسمك، فإن تلك الأجزاء وعبواتها وحتى الأجهزة النانوية تشبه الكثير من الحبيبات الرملية الخشنة ونشارة الخشب. (وربما كانت جدتى تسمى هذه الخلطة "نُخالة خشنة").

يحصل كارل وماريا على الكهرباء من الخلايا الشمسية الموجودة بالطريق، وهذا هو السبب الوحيد فى اهتمامهما برصف هذا الطريق. وفى مؤخرة مصنعهما، ينتصب

ما يبدو كمدِخنة ضخمة. غير أن كل ما تُخرجه هو تيار صاعد من هواء دافئ. والطريق المرصوف الداكن الذى تحرقه شمس نيو مكسيكو أبردً مما قد تتوقع، ذلك أنه يتشرًب الطاقة الشمسية ويُنتج كهرباء بدلاً من أن يُطلق حرارة. وبمجرد استخدام الكهرباء الناتجة، تتحول مرة أخرى إلى حرارة يجب أن تتبدد فى مكان ما. ولذلك ترتفع الحرارة من برج تبريدهما بدلا من الطريق، وهكذا تقوم الطاقة بعمل مفيد.

بعض المنتجات مثل محركات الصواريخ تُصنع ببطء ومن قطعة واحدة، ويجعلها ذلك أقوى وأكثر بقاء غير أن الخيام لا تحتاج لأن تكون فائقة المتانة، لأنها تُستخدم لفترة مؤقتة فقط. فبعد بضعة أيام من نُصبها، يبدأ ضحايا الزلزال التحرك إلى منازل جديدة لهم (وهى دائمة ومنظرها أجمل وصامدة جداً للزلازل). وعندئذ تُطوى الخيام وتُشحن لإعادة تدويرها.

إن إعادة تدوير أشياء مصنوعة هكذا سهلة وفعالة، إذ تقوم أجهزة نانوية فقط بفك التوصيلات وفصلها ثم تفرز الأجزاء فى الأحواض من جديد والشحنات التى ترسلها شركة وردة الصحراء يمكن إعادة تدويرها أساساً. ولا توضع أى مسميات خاصة على المواد الجارى تدويرها، لأن الأجزاء الجزيئية هى نفسها فى كلتا الحالتين.

ولتسهيل الأمور وجعلها أكثر ملاءمة وأيضاً للحفاظ على صغر حجم المصنع، فإن كارل وماريا يحصلان على معظم الأجزاء مُسبقة الصنع، حتى وإن كان بمقدورهما صنع أى شيء تقريباً. بل إنهما يستطيعان صنع المزيد من المعدات الإنتاجية. وفى أحد أحواض التصنيع لديهما يمكنهما وضع خزانة جديدة ممتلئة بمجمعات خاصة الاستخدام. وهما يفعلان ذلك عندما يريدان صنع جزء من نوع جديد بمقر الشركة. والأجزاء المتماثلة ومجمعات الأجزاء تُصنع بمجَمّعات خاصة الاستخدام. بل إنَّ كارل يمكنه صنع أوعية ضخمة داخل أوعية متوسطة الحجم، ثم فردها مثل الخيام.

إذا احتاجت شركة وردة الصحراء الصناعية إلى مضاعفة قدرتها الإنتاجية، يمكن لكارل وماريا تحقيق ذلك فى غضون بضعة أيام. وقد فعلا ذلك بالفعل لطلبية خاصة لصنع أجزاء من مدرجات استاد رياضي. وقد جعلت ماريا كارل يعيد تدوير المبنى الجديد، قبل أن يؤذى ظله نباتات الصبار لديهما.

مصانع المصنع

فى سيناريو شركة وردة الصحراء الصناعية الذى طرحناه، أصبح التصنيع رخيصًا وسريعًا ونظيفًا وفعالا. واستخدام أجهزة دقيقة تعالج المواد فى الأجزاء الجزيئية يُسهِّل من وصول التكنولوجيا النانوية إلى السرعة والنظافة والكفاءة، ولكن فيما يتعلق بالسعر، فإن معدات التصنيع يجب أن تكون رخيصة أولا.

ويُبيِّن سيناريو شركة وردة الصحراء الصناعية كيف يمكن تحقيق ذلك. إذ يمكن استخدام معدات التصنيع الجزيئية لإنتاج كل الأجزاء اللازمة لصنع المزيد من معدات التصنيع الجزيئية. بل إنها يمكن أن تصنع الأجهزة اللازمة لتجميع الأجزاء مع بعضها البعض. ويُشبه ذلك فكرة طرحتها وكالة (ناسا) الأمريكية لأبحاث الفضاء بشأن إنشاء مُجمَّع صناعى ذاتى التوسُع على سطح القمر، بيد أن هذه الفكرة تحققت بشكل أسرع وأبسط بواسطة استخدام أجهزة وأجزاء جزيئية.

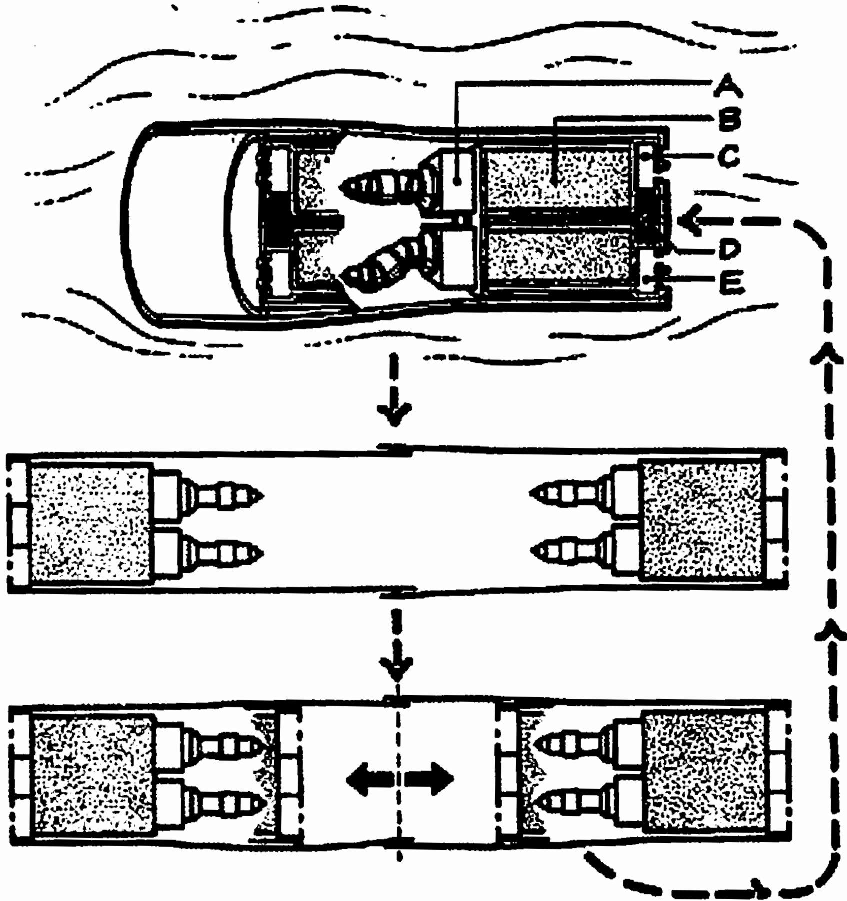
المستنسخات النانوية الذاتية

فى الأيام الأولى للتكنولوجيا النانوية، لن يكون هناك عدد كبير من مختلف أنواع الأجهزة، مثلما يوجد فى شركة وردة الصحراء. وثمة طريقة ما لصنع الكثير من

معدات تصنيع الجزيئات فى وقت معقول هى صنع جهاز يمكن استخدامه فى صنع نسخة منه، بدءا بمادة كيميائية خاصة ولكن بسيطة. والجهاز الذى يمكنه عمل ذلك يُسمى "مستنسخ ذاتيًا". ومع توفر مستنسخات ذاتية ووعاء ممتلئ بالوقود الصحيح والخامات المناسبة، يمكنك أن تبدأ بجهاز واحد ثم يُصبح لديك اثنان وأربعة وثمانية، وهلم جرا.

وهذا التضاعف سرعان ما يجعل لديك مايكفى من الأجهزة، لكى تصبح مفيدة عمليًا. والمستنسخات الذاتية – يشمل كل منها حاسوبا للتحكم فيها ومُجَمِّعة عامة الاستخدامات لصنع الأشياء – يمكن عندئذ استخدامها لصنع أشياء أخرى، مثل أطنان من أجهزة متخصصة لازمة لإنشاء مصنع كمصنع وردة الصحراء. وعند هذه النقطة، يمكن الاستغناء عن المستنسخات الذاتية لصالح تلك الأجهزة الأكثر كفاءة.

وتستحق المستنسخات الذاتية نظرة عن قرب، لأنها تبين لنا كيف يمكن استخدام منظومات التصنيع الجزيئى بسرعة لصنع المزيد من أجهزة التصنيع. ويبين الشكل (٩) تصميمًا واردًا بالبرنامج الدراسى (cs404) الذى عُقد فى شهر أبريل من عام ١٩٨٨ بجامعه ستانفورد. وإذا كنا فى أحد مشاهد محاكاتنا القياسية لوجدنا أن الأداة المجهرية الحجم الموجودة بأعلى الصورة، سوف تكون خزانًا ضخمًا يبلغ ارتفاعه ثلاثة طوابق جاثمًا على جانبه. ويحتل معظمه من الداخل منظومة ذاكرة شريطة يطلب منا تحريك الذراع لصنع كل أجزاء المستنسخة الذاتية، باستثناء الشريط نفسه. ويصنع الشريط بجهاز خاص لنسخ الشرائط. ونرى فى الجانب الأيمن من المستنسخ الذاتى مسامًا لإدخال جزيئات الوقود والخامات، وآليات لمعالجتها. وفى المنتصف، توجد أذرع يتحكم فيها حاسوب، مثل تلك التى رأيناها فى رحلتنا بالمصنع. وتنفذ تلك الأذرع معظم أعمال التصنيع.



الشكل (٩) المستنسخ الذاتى

المستنسخ الذاتى يمكنه صنع نسخ طبق الأصل منه عند تزويده بالوقود والمواد الخام. وفى هذا الشكل: (A) تحتوى على حواسيب نانوية، (B) مكتبة لتخزين التعليمات، (C) تحتوى على آليات تسحب الوقود وتولد الطاقة الكهربائية، (D) محرك كهربائى، (E) تحتوى على آليات تجهز الخامات للاستخدام. (وأحجام كل ماسبق تكوّن وفقًا لحسابات معينة يتم شرحها فى درس بجامعة ستانفورد). ويوضح الشكلان السفليان

خطوات دورة الاستنساخ الذاتي، مع شرح كيفية المحافظة على عزل حيِّز التشغيل عن السائل الخارجي الذي يوفر جزيئات الوقود والخامات اللازمة. والمستنسخات الذاتية من هذا النوع مفيدة في التجارب المخطط لها لبيان كيف تنتج الأجهزة النانوية المزيد من الأجهزة النانوية. غير أنَّ مُعدات التصنيع المتخصصة تكون أكثر كفاءة من الوجهة العملية.

وتوضح خطوات دورة الاستنساخ - باستخدام نسخة لسدّ الأنبوب والبدء في نسخة جديدة ثم تحرير النسخة القديمة - طريقة ما لكي يقوم جهاز واحد بصنع نسخة منها بينما تطفو في سائل، ومع ذلك تقوم بكل عملها التصنيعيّ بالداخل في الفراغ. (من السهل التصميم للفراغ، وهذا عمل هندسي رائد، ولذلك فإن التصميم الأسهل هو الأبسط). وتوحي الحسابات بأن دورة التصنيع كلها يمكن إكمالها في أقل من ربع ساعة، حيث إن المستنسخ الذاتي يحتوي على حوالي بليون ذرة، يمكنه معالجة حوالي مليون ذرة في الثانية الواحدة. وبهذا المُعدل، يمكن لأداة واحدة أن تتضاعف وتتضاعف مرات كثيرة لإنتاج تريليونات من نفسها في حوالي عشر ساعات.

كل مستنسخ ذاتي يكون مغموراً في حوض كيميائي تسحب منه ما تحتاجه لصنع مستنسخات كثيرة. وأخيراً، إما أن تنفذ الكيماويات الخاصة أو تُضاف كيماويات أخرى لإعطائها أمراً بصنع منتج آخر. وعند هذه النقطة، يمكن إعادة برمجتها لإنتاج أي شيء آخر تريده، مادام يتم إخراجه من مقدمتها. والمنتجات يمكن أن تكون طويلة، ويمكن أن تفرد أو تُجمع مع بعضها بعضًا لعمل أشياء أكبر حجما، ومن ثم يكون حجم المستنسخات الأولى ـ وهو أقل من حجم بكتيريا واحدة ـ مجرد قيد مؤقت.

المجمعات العامة

يتضح لنا من المُعالجات الجزيئية والمُجمعات البدائية التى شرحناها فى الفصل السابق، أنَّ الطريق الأرجح للتكنولوجيا النانوية سوف يقود إلى مجمعات ذات قدرات عامة متزايدة. ولكن مازالت الكفاءة أعلى للأجهزة، خاصة الاستخدامات، كما أن سيناريو وردة الصحراء لم يستخدم الكثير من المجمعات العامة الاستخدامات. إذن، ما سبب الاهتمام بصنع مجمعات عامة الاستخدامات أساساً؟.

لكى نقترب من الإجابة اعكس السؤال هكذا "لماذا لا نصنع تلك الأداة؟".. الواقع لا توجد أى صعوبة كأداء فى صنع المجمَّع العام، مثله مثل أى جهاز جزيئى، إنها أداة ذات تحكم موضعى مرن ومنظومة لتغذيتها بتشكيلة من أدوات التصنيع. وهذه مقدرة مفيدة. والمُجمَّعات عامة الاستخدامات يمكن دائمًا استبدال بها الكثير من الأدوات المتخصصة، غير أنه لصنع تلك الأدوات المتخصصة أساساً، فمن المنطقى أنه لابد من وجود منظومة مرنة عامة الاستخدامات يمكن إعادة برمجتها.

وعلى ذلك، فالأرجح أننا سنستخدم تلك الأجهزة عامة الاستخدامات فى عمليات تصنيع محدودة لإنتاج أدوات أكثر تخصصا. ويرى ذلك "رالف ميركل" وهو خبير فى الحواسيب والأمن بمركز أبحاث (بالو ألتو) بشركة زيروكس، على أنه مطابق أو مماثل لطريقة التصنيع الحالية ويقول: "الأدوات عامة الاستخدامات يمكن أن تؤدى أعمالا كثيرة، لكنها سوف تفعل ذلك بكفاءة محدودة. فأى مهمة معينة سوف تكون هناك طريقة واحدة أو بضع طرق جيدة لتنفيذها، وأيضًا واحدة أو بضع أدوات عامة الاستخدامات مُجهَّزة تمامًا لتنفيذها. فالمسامير مثلا لا تنتجها مصانع أو ورش بها أجهزة عامة الاستخدامات، وإنما تُنتجها أجهزة صنع المسامير. وبالتالى، فإنَّ صنع المسامير بجهاز عام الاستخدامات سوف يكون أكثر تكلفة وأكثر صعوبة وأكثر استهلاكًا للوقت. كما أننا لن نشاهد الكثير من منظومات الاستنساخ الذاتى عامة الاستخدامات، وإنما سنرى آلات وأجهزة متخصصة لكل مهمة تقريبًا".

ما الذي سوف تمكننا تلك الإمكانات والقدرات من تنفيذه؟

لقد استعرضنا الكثير من المعدات والأدوات، مثل مختلف أنواع المُجَمِّعات والحواسيب النانوية ومفاتيح الفك والمُستنسخات الذاتية وغيرها. والمهم بالنسبة إلى كل تلك المعدات والأدوات ليس التمييز الدقيق بين كل واحدة منها والأخرى، وإنما القدرات والإمكانات التى سوف توفرها والتأثيرات التى سوف تُحدثها فى حياة البشر. ومرة أخرى، فإننا سنؤجّل مناقشة حالات الانتهاكات وسوء الاستخدام المحتملة لها إلى وقت لاحق.

وإذا استبعدنا التداعيات والتعقيدات الناجمة عما رأيناه فى سيناريو وردة الصحراء، فبوسعنا أن نحلل بعض النتائج والتأثيرات الكبرى للتصنيع الجزيئى فى مجالات الصناعة والعلم والطب.

التكنولوجيا والصناعة

يكمن أساس التكنولوجيا النانوية فى التصنيع الجزيئى، وبالطبع، فإنَّ التصنيع هو أساس معظم صناعاتنا الحالية. وهذا هو السبب فى أن وردة الصحراء قامت ببداية جيدة بوصف عالم التكنولوجيا النانوية. ومن وجهة نظر صناعية، فمن المنطقى أن نفكر فى التكنولوجيا النانوية من منظور المنتجات والإنتاج.

المنتجات الجديدة: نحن نتعامل فى الوقت الحاضر مع المادة ببدائية وعدم إتقان، ولكن التكنولوجيا النانوية سوف تقترن بمنظومة تحكم تام فى تركيب المادة، مع قدرتها على صنع أشياء بمواصفات دقيقة ذرة بذرة. ويعنى ذلك أنها قادرة على صنع كل شىء تقريبًا. وبالمقارنة، فإنَّ النطاق الحالى للمنتجات سوف يكون بالنسبة إليها محدودا للغاية. التكنولوجيا النانوية سوف توفر إمكانية صنع كم هائل من المنتجات

الجديدة. إلى حد لا نستطيع تصوره الآن. ولكى نتفهم أو ندرك أكثر ما هو ممكن، بوسعنا إلقاء نظرة على بعض التطبيقات التى يسهل علينا تصورها.

منتجات يُعتمد عليها: اليوم تفشل منتجاتنا عادة. ولكى يحدث فشل ـ مثل سقوط جناح طائرة أو تآكل كرسى تحميل بآلة – فهذا معناه أن كثيرًا من الذرات غير موجودة فى أماكنها الصحيحة. لكن فى المستقبل يمكننا أن نفعل ما هو أفضل من ذلك، وهناك سببان أساسيان لحدوث ذلك هما: مواد أفضل وتحكم أفضل فى وجود المنتجات، وكلاهما يتحققان فى التصنيع الجزيئى. فباستخدام مواد أقوى عشر مرات من الفولاذ – مثلما فعلت وردة الصحراء – سوف يكون من السهل صنع أشياء بالغة القوة وذات أمان كبير للغاية. وبصنع الأشياء مع التحكم فيها ذرة تلو أخرى، فالأخطاء يمكن أن تُصبح ضئيلة إلى حد بعيد أو غير موجودة تقريبًا بمعاييرنا الحالية.

مع تطبيق التكنولوجيا النانوية، سوف يمكننا التصميم بنطاق أو هامش أمان كبير جدًا ثم التصنيع بدقة تقترب من الكمال. وستكون النتيجة منتجات متينة ويعتمد عليها تمامًا. (لكن سوف تكون هناك دائما فرصة لتصميمات سيئة ولأفراد يريدون أن يجازفوا بصنع أجهزة تقع على حافة الهاوية).

منتجات ذكية: الآن نصنع معظم الأشياء من قطع أو كتل من المعدن أو الخشب أو البلاستيك أو ما شابه ذلك، أو من كتل متداخلة ومتشابكة من الخيوط. أما الأشياء المصنوعة بالتصنيع الجزيئى فيمكن أن تحتوى على تريليونات من المحركات والحواسيب النانوية التى تشكل أجزاء تعمل مع بعضها البعض لصنع أشياء مفيدة. فحبل مُتسلق الجبال مثلاً يمكن أن يُصنع من ألياف تنزلق حول بعضها بعضًا وتجدل نفسها من جديد للتخلص من الأجزاء المهترئة من الحبل. والخيام يمكن أن تُصنَّع من أجزاء تنزلق وتشتبك ببعضها البعض، بحيث تحوِّل كومة من القماش إلى إنشاء قوى. والجدران والأثاث يمكن صنعها، بحيث تُصلح نفسها بنفسها بدلاً من التصدُّع والتهاوى.

ومن الناحية العملية، هذا النوع من المرونة سوف يزيد من الموثوقية فى المنتجات ودرجة الاعتماد عليها. وبالإضافة إلى ذلك، سوف يجعل من الممكن صنع منتجات جديدة ذات قدرات لم نكن نتخيل أننا نحتاج إليها بهذه الدرجة وحتى بخلاف ذلك. فإنها سوف تفتح إمكانات جديدة للفن.

منتجات رخيصة: يحتاج الإنتاج الآن إلى الكثير من العمالة، سواء لصنع الأشياء أو لإنتاج أجهزة تُصنع الأشياء وتُحافظ عليها. والعمالة مكلّفة، كما أن الأجهزة الغالية تصنع منتجات مرتفعة الثمن، وفى سيناريو وردة الصحراء، أخذنا لمحة عن كيفية تمكّن التصنيع الجزيئى من تخفيض تكلفة الإنتاج إلى حد كبير عما هى عليه الآن. ولعل هذه هى أكثر النتائج أهمية بالنسبة إلى التكنولوجيا النانوية، ولذلك، سوف نلقى نظرة عن قرب عليها فى الفصل التالى.

منتجات نظيفة: فى الوقت الحاضر، تتعامل عملياتنا الصناعية مع المواد بقذارة ومن ثم تنتج تلوثًا. مثلاً إحدى الخطوات تصنع المواد من غير أماكنها الصحيحة والخطوة التالية تنظف المنتجات منها وتدفعها إلى المياه العمومية. ويزيد منظومة النقل عندنا من سوء هذه المشكلة، حيث تُطلق الشاحنات وناقلات النفط غير الموثوق بها بعض الكيماويات السامة عبر الأراضى والبحار. إن كل شىء غالٍ، ولذلك تبخل الشركات فى الإنفاق على وسائل التحكم شبه الفعالة فى الملوثات التى نعرف كيف نوفرها.

التكنولوجيا النانوية سوف تعنى تحكمًا أكبر فى المادة، مما يسهُل من تفادى تلوث البيئة. ويعنى ذلك أنَّ ضغطًا قليلاً للرأى العام سوف يتبدل لفترة طويلة باتجاه الوصول إلى بيئة نظيفة. وبالمثل سوف تسهِّل زيادة الكفاءة وتقليل الموارد المطلوبة. ويمكن صنع المنتجات، مثل خيام الصليب الأحمر التى صنعتها شركة وردة الصحراء، من أجزاء تُثبت فى بعضهما البعض ويسهل إعادة تدويرها. أما المنتجات المتطورة والمعقدة، فيمكن حتى صنعها من أجزاء تنحل حيويًا. وسوف تسهل التكنولوجيا النانوية القضاء على أسباب التلوث من جذورها التكنولوجية الأصلية.

وسوف تكون للتكنولوجيا النانوية تطبيقات كثيرة للغاية فى مجال الصناعة، تماماً مثلما كان للترانزستورات تطبيقات هائلة فى مجال الإلكترونيات، ومثلما كانت للديمقراطية تطبيقاتها الكثيرة فى إطار المنظومات الملكية. إنها لن تطور الصناعة التى سادت فى القرن العشرين بقدر ماتحل محلها. . بالطبع ليس بشكل مفاجئ ولكن خلال فترة زمنية معقولة.

العلم والكيمياء

يتعامل الكيميائيون حاليا مع أعداد هائلة من الجزيئات ويدرسونها باستخدام تقنيات بارعة غير مُباشرة. وصُنع جزىء جديد يمكن أن يكون مشروعًا كبيراً. ودراسته يمكن أن تكون مشروعًا آخر. والتصنيع الجزيئى سوف يساعد الكيميائيين على عمل مايريدون دراسته، وأيضًا على صنع الأدوات التى يحتاجون إليها لهذه الدراسة. وسوف يتم استخدام الأدوات النانوية لفحص ومعاينة وقياس وتعديل الجزيئات بطرق كثيرة للغاية، علاوة على دراسة تركيباتها وسلوكياتها وتفاعلاتها.

المواد: يصنع علماء المواد فى الوقت الحاضر موصلات فائقة[٩] وأشباه موصلات[١٠] ومواد إنشائية، بالخلط والسحق والتحميص والتجميد وهلم جرا. غير أنهم يحلمون بتركيبات أفضل مما يمكنهم صنعها حاليًا، بيد أنهم يعثرون بالصدفة على أشياء أكثر مما يخططون له. ومع التصنيع الجزيئى يمكن لعلم المواد أن يصبح أكثر منهاجية ودقة وكمال. ويمكن تجربة أفكار جديدة لأنه يمكن صنع مواد جديدة طبقًا للمخطط لها (بدلاً من التصرفات العشوائية غير المسؤولة والبحث على غير هدى عن أى صيغة أو طريقة مفيدة).

(٩) ظاهرة تحدث فى بعض المواد عند تبريدها إلى درجات حرارة منخفضة جداً ، تقترب من درجة الصفر المطلق (– 273.15 درجة مئوية) ، حيث تسمح الموصلات الفائقة بمرور التيار الكهربائى خلالها دون أى مقاومة كهربية تقريبا. (المترجم)

(١٠) مادة صلبة تكون مقاومتها الكهربية ما بين الموصلات والعوازل، وهى تدخل فى تصنيع الحاسوب والتلفاز وغيرهما. (المترجم)

ولا يحتـاج هـذا الأمر إلى استبعاد الاكتشافات غير المتوقعة، ما دامت التجارب – حتى الأبحـاث العشوائيـة – سوف تُنجز بطريقة أسـرع كثيرًا. وسوف تكفى عدة أطنان من المواد الخام، لصناعة بليون بليون عينة، كل منها يبلغ حجمه ميكرونا مكعبا. وفى كل حقب التاريخ حتى الآن، لم يختبر علماء المواد كمية من المواد بهذه الكثرة. وبفضل الأدوات والمعدات النانوية والحواسيب النانوية، أمكن لهم تحقيق هذا الإنجاز. ومن ثم، فبمقدور مختبر واحد أن يحقق أكثر مما ينجزه علماء المواد الحاليين مجتمعين.

علم الأحياء: يستخدم علماء الأحياء حاليًا عددًا هائلاً من الأدوات الجزيئية مُستقاة من علم الأحياء لدراسة علم الأحياء. ويمكن اعتبار الكثير من تلك الأدوات أجهزة جزيئية. والتكنولوجيا النانوية سوف تطور كثيرًا علم الأحياء، وذلك بتوفير أدوات جزيئية أفضل وأجهزة نانومترية أفضل. وعلى الرغم من أنَّ بعض الخلايا تم وصفها ورسمها بتفصيل جزيئى مدهش، فإن علم الأحياء مازال أمامه الكثير ليعمله. ومع توفير الأجهزة والأدوات النانومترية (التى تشمل مُجَمِّعات الجزيئات واحدًا بعد آخر). سوف يتمكن علماء الأحياء أخيرًا من وصف الخلايا ورسمها بدقة تامة ودراسة تفاعلاتها بالتفصيل. وسوف يصبح من السهل ليس فقط العثور على جزيئات فى الخلايا، وإنما أيضًا معرفة الوظائف التى تقوم بها. وسيساعدنا ذلك على فهم الأمراض وكل الجزيئات التى تتطلبها الصحة السليمة، مما سيعمل على تقدم الطب بشكل هائل.

عمليات تشغيل الحاسوب: تتراوح سرعة الحواسيب المعاصرة ما بين مليون إلى بليون مرة قدر سرعة الآلة الحاسبة المكتبية القديمة، وكانت نتيجة ذلك ثورية بالنسبة إلى العلم. وفى كل عام يمكن الإجابة عن المزيد من الأسئلة بناءً على القواعد والأسس الفيزيائية المعروفة. ومجىء الحواسيب النانوية – حتى الحواسيب النانوية الميكانيكية البطيئة ذات النوعية الرديئة – سوف يوفر لنا أداة تبلغ قدرتها تريليون مرة أكبر من قدرة اليوم (وذلك أساسًا بتيسير وضع تريليون حاسوب فى حيز صغير جدًا بدون أن نخسر الكثير من طاقتنا أو أموالنا). وسوف تكون نتائج ذلك ثورية هى الأخرى.

الفيزياء: الأسس المعروفة فى الفيزياء كافية لفهم الجزيئات والمواد ليس لفهم ظواهر فى حدود مقاسات مازالت تعتبر دون مجهرية إذا كانت الذرة بحجم بلية اللعب. والتكنولوجيا النانوية لا تفيدنا هنا مباشرة، ولكن يمكنها توفير إمكانات تصنيع تجعل صنع معجلات الجسيمات[11] هائلة الحجم اقتصادياً، وهو أمر يستنزف الآن ميزانيات الدول.

وبشكل أكثر عمومية سوف تساعد التكنولوجيا النانوية العلم كلما كانت الدقة والتفاصيل الدقيقة أمرين مهمين. والعلم يتقدم غالبًا بتجربة تنويعات صغيرة فى تجربتين متماثلتين تقريباً ومقارنة النتيجتين. ويكون ذلك أسهل عندما يتمكن التصنيع الجزيئى من صنع جزيئين متماثلين جزيئًا وراء آخر. وفى بعض المجالات، نجد أن تكنولوجيا اليوم ليست فقط بدائية بل مدمرة. فالمواقع الأثرية مثلاً سجلات رائعة لماضى البشرية، إلا أن تكنولوجيا اليوم تُفسد أو تُضيِّع أكثر المعلومات عنها بسبب الحفريات بالصدفة. أما علماء الآثار فى المستقبل فسوف يكونون قادرين على فحص التربة ليس بقعة ببقعة وإنما جزىء بجزىء، وبالتالى سيكونون ممتنين حقًا لعلماء الآثار الذى يتركون لنا الآن بعض الأماكن على طبيعتها الأولى.

الطب: من بين كل المجالات التى تكون فيها القدرة على صنع أدوات جديدة مهمة لنا، لعل الطب يكون أكثرها أهمية. فجسد الإنسان دقيق ومعقَّد وهذا التعقيد يمتد وراء نطاق رؤية الإنسان ووراء الصور المجهرية وصولاً إلى المقاسات أو الأحجام الجزيئية وفى أيامنا هذه انتشر استخدام التعبير "الطب الجزيئى" غير أن الطب الآن لا يتوفر له سوى أبسط الأدوات الجزيئية. وأثناء استخدام علم الأحياء للأدوات النانوية لاستقصاء الأمراض والصحة، سوف نعرف المتطلبات المادية أو البدنية لاستعادة الصحة الجيدة والحفاظ عليها. وعندما نتمكن من تلك المعرفة فسوف تأتى الأدوات التى تتراوح ما بين المستحضرات والأدوية الطبية المتطورة إلى أدوات قادرة على إصلاح الخلايا والأنسجة عن طريق إجراء جراحة جزيئية.

١١- جهاز يستخدم المجالات الكهرومغناطيسية لتعجيل الجسيمات دون الذرية إلى سرعات هائلة توطئة لتحطيمها لاكتشاف مكوناتها. (المترجم)

سوف يكون الطب المتطور ضمن أكثر التطبيقات المعقدة والصعبة للتكنولوجيا النانوية. غير أنه سوف يتطلب معرفة واسعة، وسوف تقوم الأدوات النانوية بالمساعدة فى جمع تلك المعلومات. وسيطرح ذلك تحديات هندسية كبرى، إلا أن الحواسيب ذات القدرات التى تبلغ تريليون مرة قدر ما هو موجود حاليًا سوف تساعد على مواجهة تلك التحديات وسوف تحل مشاكل طبية تنفق عليها الآن بلايين الدولارات بأمل تحقيق تحسينات متواضعة أو بسيطة فيها.

الطب الحديث يعنى اليوم طريقة مُكلِّفة جدًا لإطالة بؤس المرء وشقائه. تُرى هل سيكون الطب النانوى مثل ذلك؟. أى قارئ يزيد عمره على ثلاثين عامًا مثلاً يعرف كيف تبدأ الحالة الصحية فى التدهور، صُداع هنا وتجاعيد وترهلات هناك وفقد فى القدرة على الحركة. وطول عشرات السنين تدهورت جودة الحياة البدنية أسرع فأسرع – أى حدود مايقدر الجسم على عمله أصبحت أقل فأقل – حتى تصبح الحدود هى سريرًا بالمستشفى. إنها القدرة على الشفاء عندما يبدأ شبابنا فى الأفول. وتركِّز الممارسات الطبية المعاصرة ذروة جهودها على أشياء مثل وحدات العناية المركزية التى تطيل أو تمد فى آخر سنوات حياتنا، بدون أن نستعيد صحتنا وعافيتنا.

بالطبع، الطب المتقدم سوف يقدر على استعادة الصحة والعافية والقدرة القوية لنا على الشفاء. وتعتمد تكلفة ذلك على تكلفة صنع أشياء أكثر تطورًا وتعقيدًا مما رأينا من قبل، مثل تكلفة صنع تريليونات من الحواسيب والحاسات وما شابه ذلك. ولفهم الصورة العامة المستقبلية للطب، مثلها مثل الصورة المستقبلية للعلم والصناعة، علينا أن نُلقى نظرة متفحصة عن قُرب على تكلفة التصنيع الجزيئى.

الفصل السابع

منحنى القـــدرة

فى الفصول السابقة، شققنا طريقنا إلى الأمام وإلى الخلف خلال الزمن. وكانت الخطوة الأخيرة كبيرة، حيث قفزنا من أجهزة معملية صغيرة إلى منشآت صناعية عالية السعة مثل سيناريو وردة الصحراء. وقد عبرت قصتنا هذه الثغرة بقفزة واحدة، بيد أنَّ العالم لم يفعل ذلك. ولكى نفهم كيف تكشف التكنولوجيا النانوية عن أسرارها، فمن المعقول أنَّ ننظر إلى بعض تطبيقاتها الأسهل والأكثر صعوبة. غير أنَّ النتيجة لن تكون جدولاً زمنيًا أو حتى سلسلة من المعالِم المهمة، وإنما ستعطى صورة أفضل لما نتوقعه عندما تتطور التكنولوجيا النانوية من بدايات بسيطة إلى حالة من التطور العظيم والتكلفة المنخفضة.

تحسين الجودة

سوف يجعل التصنيع الجزيئى من الممكن إنتاج منتجات أفضل. والأرجح أننا سنرى بعض التطبيقات المبكرة فى مجالين على الأقل: مواد أقوى وحواسيب أسرع. والمواد الأقوى أبسط وسوف يكون من الصعب أنَّ نضيعها. والحواسيب أكثر تعقيداً، ولكن مردودها سوف يكون مروعاً.

كانت صناعة الحواسيب باستمرار تحت ضغط لجعل رقائق الحواسيب أصغر فأصغر. وعندما صغرت الأحجام، انخفضت التكلفة بينما زادت الكفاءة والقدرات. والضغط الذى يعمل على استمرار هذه العملية يدفع فى اتجاه تحقيق التكنولوجيا النانوية، بل ربما يكون واحداً من المحفزات الكبرى وراء تطوير التكنولوجيا.

ويشرح "جون ووكر" - أحد مؤسسى المكتب الآلى- الأمر بقوله: "حتى التكنولوجيات ذات قوى الدفع الهائلة يمكن أنّ تظل هاجعة فى سبات مالم يتضح أنّ لها مردودات كبيرة على امتداد طريق مكافأة أولئك الذين يقودونها ويمهدون الطريق لها. وهذا أحد أسباب التطور السريع للدوائر المتكاملة، لأن كل تطور وجد له سوقًا فوريًا يرحب بتطبيقه وترتب على ذلك ثراء المبدع الذى ابتكره.

"هل للهندسة الجزيئية مثل هذا المردود؟. . نعم أنا أعتقد ذلك. ولو تذكرنا أننا نبعد بمسافة أقل من عشر سنوات من (الوصول إلى طريق مسدود) فى الطريق الذى تقودنا فيه الخطوات المتسلسلة من إلكترونياتنا الحالية، لعرفنا السبب فى أنّ قدراً كبيراً جدا من الأبحاث فى مجال الإلكترونيات الجزيئية وإلكترونات الكم، يجرى الآن على قدم وساق. ومن السهل حساب هذا المردود: فمثلاً يمكنك صنع أجهزة وأدوات أسرع ألف مرة وأكثر كفاءة فى استخدام الطاقة وأرخص ثمنًا من تلك التى نستخدمها حاليًا، وعلى الأقل مئة مرة أفضل من المواد الغريبة التى نبحث فى إمكانية استخدامها بديلا للسليكون، عندما يستنفد كل إمكانياته".

ويتفق "فدريكو كالاسو" رئيس إدارة ظواهر الكم وأجهزتها البحثية بمختبرات بيل التابعة لشركة (AT&T)، مع فكرة استمرار الباحثون فى مجالات الإلكترونيات فى البحث المتواصل عن أدوات أصغر بمجرد استنفاد السليكون لكل إمكاناته. ويشرح تلك

الفكرة بقوله: "عند نقطة ما سوف نواجه صعوبات، ولكن بعض الناس يقولون إنها عند مقاس مئة وخمسين نانو مترا، والبعض الآخر يقول إنها أكثر من ذلك. فما الذى سيحدث عندئذ؟.. من الصعب الاعتقاد بأن صناعة الأجهزة الإلكترونية سوف تقول "سنتوقف هنا عن التقدم والتطور لأننا لا نستطيع تصغير الأدوات أكثر من ذلك".. ومن وجهة نظر اقتصادية فلكى تعيش أى صناعة يتعين عليها أنّ تستمر فى التقدم والابتكار والتطور بدون أى توقف".

مثلاً تقدم صناعة الحواسيب وتطورها باتجاه صنع أجهزة بحجم الجزيئات يبدو أنه حتمىّ. وأبحاث اليوم تكافح من أجل صنع إلكترونيات جزيئية باستخدام تقنيات ضخمة بواسطة إلكترونيات جزيئية وبدون ظهور أى منتجات لها فى الأفق، لكنهم سوف يجدون فى النهاية الأدوات التى يحتاجونها لإجراء تجارب سريعة ودقيقة. وبمجرد تطوير وتجهيز واختبار تصميم ناجح لها، سوف يتركز الضغط على تعلم كيفية صنعها بكميات كبيرة وبتكلفة منخفضة. بيد أنّ الضغوط التنافسية ستكون عنيفة، لأن الإلكترونيات الجزيئية المتطورة ستكون أفضل أضعافًا مضاعفة من الدوائر المتكاملة الحالية، مما سيمكن فى النهاية من صنع حواسيب ذات قدرات أعلى بتريليونات المرات.

مواد أقوى وأخف وزنًا

فى الجهة المقابلة للإلكترونيات الجزيئية - المعقدة والتى تساوى أساسًا بلايين الدولارات لكل جرام منها - توجد المواد الإنشائية التى تساوى دولارات فقط لكل كيلو جرام فى معظم التطبيقات، لكنها أكثر بساطة فى تركيبها. وبمجرد أنّ يصبح التصنيع الجزيئى رخيصا، فإن المواد الإنشائية سوف تصبح منتجات مهمة.

تلك المواد تلعب دوراً جوهرياً في كل شيء من حولنا، من السيارات والطائرات إلى الاثاث والمنازل. وكل تلك الأشياء تكتسب حجمها وشكلها وقوتها من هيكل إنشائي من نوع ما. ويجعل ذلك المواد الإنشائية مكانًا طبيعيًا نبدأ منه لفهم كيفية تحسين التكنولوجيا النانوية للمنتجات.

السيارات في أيامنا هذه تصنع أساسًا من الفولاذ والطائرات من الألومنيوم والمباني والأثاث من الفولاذ والأخشاب. وكل تلك المواد لها نسبة معينة من قوة التحمل إلى الوزن (أو بتعبير أكثر دقة قوة التحمل إلى الكثافة). ولجعل السيارات أقوى، يجب أنّ يزداد وزنها، ولكن لو جعلناها أخف وزنًا، فإنها تصبح أضعف في متانتها وقوة تحملها. والتصميم البارع يغير من هذه العلاقة قليلا، ولكن لتغييرها بدرجة كبيرة لابد من تغيير المواد التي نستخدمها.

من السهل جعل الأشياء أكثر وزنًا، مثلا اترك فراغا مجوفا بها، ثم احشه بماء أو رمل أو حفنة من الرصاص... إلخ. ولكن الأصعب والأكثر أهمية جعل المنتج خفيفًا وقويا. الشركات الصانعة للسيارات تحاول بذل الجهد لجعل السيارة أخف وزنًا، والشركات الصانعة للطيارات تبذل جهدًا أكبر لجعل الطائرة أخف وزنًا، أما الشركات الصانعة للمركبات الفضائية فهي في هم دائم وبحث لا ينتهي. والحقيقة أنّ تخفيض الوزن يوفر المواد والطاقة.

أقوى المواد التي نستخدمها في الوقت الحالي تصنع أساسًا من الكربون. مثلاً (الكلفار)، المستخدم في صنع أشرعة قوارب السباق والصدريات المقاومة للرصاص، يصنع من ألياف جزيئية غنية بالكربون. ومركبات الجرافيت غالية الثمن المستخدمة في صنع مضارب التنس والطائرات النفاثة تصنع من ألياف الكربون الخالص. وألياف الكربون الرائعة، سواء كانت في شكل جرافيت أو ماس، يمكن أنّ تكون أفضل، لكن لا يمكن صنعها بتكنولوجيا اليوم. وبمجرد انطلاق مسيرة التصنيع الجزيئي، فإنّ مثل تلك المواد ستصبح شائعة ورخيصة الثمن.

إذن ماذا سيكون شكل تلك المواد؟.. وحتى يمكننا تصورها، سوف نبدأ بمثال جيد هو الخشب. وتركيب الخشب يمكن أنّ يتفاوت بدرجة كبيرة من خفيف للغاية

ومسامى، مثل خشب (البلسا)[1]، إلى أكثر كثافة أو وزنًا، مثل خشب البلوط[2]. وتُصنع الأخشاب بأجهزة جزيئية فى المصانع من بوليمرات[3] غنية بالكربون ومعظمها من السليولوز[4]. والتصنيع الجزيئى سوف يكون قادرًا على صنع مواد كهذه، ولكن تصل نسبة قوة تحملها إلى وزنها، إلى مئات أضعاف تلك للفولاذ متوسط الجودة وعشرات أضعاف تلك للفولاذ عالى الجودة. وبدلاً من صنعها من السليولوز، سوف يتم صنع تلك المواد من الكربون بأشكال تشبه الماس.

نحن نركز هنا على الماس، ليس لأنه متألق وغالى الثمن، ولكن لأنه قوى، ومن الممكن أنْ يكون رخيص الثمن. والماس هو كربون ذراته مرتبة ترتيبًا صحيحًا. والشركات تتعلم بالفعل الآن كيف تصنعه من الغاز الطبيعى تحت ضغط منخفض. والتصنيع الجزيئى سوف يكون قادرًا على صنع أجسام معقدة من تلك المادة، وبحيث تكون أخف من خشب البلسا، ولكن أقوى من الفولاذ!

الحقيقة أنَّ المواد المصنوعة من تلك المواد تعتبر مذهلة بمعاييرنا الحالية. والمنتجات التى سنصنعها ستكون مشابهة من حيث الشكل والحجم لتلك التى ننتجها الآن، ولكنها أقوى وأخف منها بنسبة ٩٠٪. وهذا شىء عليك أنْ تتذكره فى المرة القادمة التى تجر فيها جسما ثقيلاً وراءك. (وإذا كان جسم ما يحتاج إلى وزن أو ثقل لتثبيته فى مكانه، فالأفضل أن نضع هذا الثقل عندما يكون هذا الجسم فى مكانه الصحيح بدلا من إضافة ذلك الوزن الزائد إليه بشكل دائم).

المواد الإنشائية الأفضل سوف تجعل الطائرة أخف وزنًا وأكثر كفاءة، لكن أكبر تأثير لها سوف يتضح فى مجال مركبات وسفن الفضاء. فى الوقت الحاضر يمكن لسفن الفضاء الوصول إلى مدار لها حول الأرض بالحد الأدنى من الحمولة والحد الأدنى من السلامة. وللوصول إلى هناك أساسًا، على تلك السفن أن تلقى بصواريخ

---

(١) شجر أمريكى استوائى خشبه خفيف الوزن يستخدم مادة عازلة وفى صنع نماذج الطائرات. (المترجم)

(٢) شجرة دائمة الخضرة تتميز بخشبها المتين. (المترجم)

(٣) مركب كيميائى له وزن جزيئى كبير. (المترجم)

(٤) مادة نشوية من مكوناتها الجلوكوز تؤلف معظم جدار الخلية فى معظم النباتات. (المترجم)

تعزيزها وخزاناتها على طول مسارها فى الفضاء، وذلك لتقليل وزنها. ولكن عند استخدام مواد أقوى، سوف يتغير ذلك: ففى سيناريو السفر إلى الفضاء من أجل التجارة الذى بحثناه فى الفصل الأول، سوف تصبح سفن الفضاء مثل طائراتنا الآن، إذ سوف تكون متينة ويعتمد عليها، كما ستكون قوية وخفيفة بما يكفى لوصولها إلى الفضاء كوحدة متكاملة لا ينقص منها شىء على الإطلاق.

التطور بمعدل سريع

فى بعض مجالات التكنولوجيات العالية - مثل سفن الفضاء التى أصبحت نموذجًا سيئ السمعة - يحتاج الأمر إلى سنوات وربما عقود زمنية لتجربة أى فكرة جديدة. ويؤدى ذلك إلى تباطؤ التقدم حتى يكاد يتحول إلى زحف.

ولكن فى مجالات أُخرى - مثل البرمجيات التى أصبحت نموذجًا رائعًا لها - فالأفكار الجديدة يمكن تجربتها فى دقائق أو ساعات. ومنذ تجمّد تصميم مكاكيك الفضاء، ظهرت برمجيات الحواسيب الشخصية ووطدت من مكانتها، ومرت خلال أجيال كثيرة من التطورات التجارية، تميزت كل منها بدورة من الإنشاء الجديد والاختبار.

الاختبارات السريعة رخيصة التكلفة

حتى فى أيام أول المعالجات الجزيئية الفعالة، فإن التجارب ستكون على الأرجح سريعة الخطوات. فالخطوات الكيميائية المنفصلة ستستغرق ثوانى أو أقل، كما أنّ المنتجات الجزيئية المعقدة يمكن إنشاؤها فى غضون ساعات، وسوف يتيح ذلك تجربة الأفكار الجديدة بسرعة، وذلك بمجرّد تصميمها.

المجمعات اللاحقة ستكون أسرع، وبسرعة تبلغ جزءًا واحدًا من مليون جزء من الثانية لكل خطوة منها، فإنها تقترب من سرعة الحواسيب. وكلما ازدادت التكنولوجيا النانوية نضجًا وكفاءة، توفر للقائمين بالتجارب المزيد والمزيد من الأدوات الجزيئية لمساعدتهم فى التأكد مما إذا كانت أدواتهم تعمل أم لا. وسوف يُشجِّع كل من الإنشاء السريع والاختبار الخاطف على سرعة التطور والتقدم إلى الأمام.

عند هذه النقطة، سوف تكون تكلفة المواد والأجهزة والمعدات اللازمة للتجارب ضئيلة. أما الآن فلا يستطيع أحد تحمل تكلفة بناء صواريخ تتجه إلى القمر بميزانية صغيرة، لكن بوسعه أنْ يبتكر برمجيات للحاسوب، وقد نجم عن ذلك كثير من البرامج النافعة. وليس ثمة سبب اقتصادى يمنع فى النهاية بناء أجهزة نانونية بميزانية شخصية، على الرغم من أنَّ هناك أسبابًا - سوف نناقشها معًا فى الفصول القادمة - للرغبة فى وضع حدود لما يمكن بناؤه.

البساطة المبكرة

فى النهاية، تدفع دائما التكنولوجيات الراسخة باتجاه الوصول إلى حد معين، ويحدث ذلك عادة بعد استغلال كل الفرص السهلة المتاحة. وفى مجالات كثيرة، تكون تلك هى حدود خواص المواد المستخدمة وتكلفة ومدى دقة عمليات التصنيع، ويصبح ذلك فى حالات الحواسيب وسفن الفضاء والسيارات والخلاطات والأحذية، أما بالنسبة إلى البرمجيات، فإن حدودها هى حدود سعة الحواسيب ودرجة التعقيد الشديد الذى تتسم به (الذى يمكننا أنْ نقول إنه أيضًا للذكاء البشرى).

ولكن بعد أنْ يطوّر التصنيع الجزيئى بعض قدراته الأساسية، سوف تنهار مجموعة كاملة من الحدود، ويقترن بذلك إمكان تطبيق نطاق واسع من التطورات

العلمية والحدود التى تفرضها خواص المواد وتكاليف ودقة عمليات التصنيع سوف تزاح تماما. ويتعين أن تندمج المنافسة والفرص السهلة والتجارب السريعة منخفضة التكلفة بُغية انطلاق انفجار من المنتجات الجديدة.

بيد أنَّ هذا لا يعنى أنه سوف يحدث فوراً، وكذلك لايعنى أنه لاينطبق على كل التكنولوجيات التى يمكن تخيلها. وبعض التكنولوجيات يمكن تخيلها وهى عملية ومجدية بشكل واضح، غير أنها معقدة بشكل كبير. ولكن الاعتبارات السابقة توحى بإمكان حدوث عدد كبير من التطورات بمعدل سريع. وربما يبدو أنَّ العائق الرئيسى فى نقص المصممين الواعين، إذ من النادر أن تجد شخصًا يعرف جيدًا كلاً من الكيمياء والتصميم الميكانيكى، غير أنَّ تحسين عمليات المحاكاة بالحاسوب سوف يساعد فى هذا الصدد. وعمليات المحاكاة تلك سوف تجعل المهندسين ينشغلون بتصميمات الأجهزة الجزيئية واستيعاب المعلومات الخاصة بالقواعد الكيميائية بدون فهم الكيمياء بمعناها المعتاد.

التعقيد المتزايد

إنَّ صنع منتجات مألوفة من مواد مُحسنَّة سوف يزيد من أمانها وأدائها وفائدتها، كما أنه سوف يعبّر عن أبسط مهمة هندسية. ولكن ثمة تغيير أكبر سوف ينجم عن منتجات غير مألوفة تصبح ممكنة بطرق تصنيع جديدة. وعند التحدث عن منتجات غير مألوفة، يبرز سؤال تصعب الإجابة عليه: ماالذى سوف يريده الناس؟

	الفضاء	الحواسيب	التكنولوجيا النانوية
علوم وتكنولوجيات رائدة	- الفيزياء - صواريخ سبر الأجواء العليا	- الرياضيات - الإلكترونيات	- الكيمياء النظرية - التركيبات الكيميائية
تقدم جوهرى	فرق العمل تندمج وتحسن التكنولوجيات	فرق العمل تندمج وتحسن التكنولوجيات	فرق العمل تندمج وتحسن التكنولوجيات
مستهل الإمكانات	القمر الاصطناعى الأول	الحاسوب الأول	المُجمع الأول
التطبيقات العملية الأولى	أقمار اصطناعية خاصة بالطقس والتجسس والاتصالات	- حسابات علمية - حسابات جداول الأجور والمرتبات	- الحسابات الجزيئية - الحسابات الجزيئية بالحاسوب
إمكانيات الإنجازات العلمية الكبرى	رحلات فضاء منتظمة ورخيصة السعر	حواسيب مكتبية قوية متوفرة فى كل مكان	التصنيع الجزيئى الكبير ورخيص التكلفة
المزيد من التطورات المتصورة	- قاعدة قمرية -استكشاف المريخ	إصدارات إلكترونية واسعة النطاق	- إمكانات طبية جديدة - منتجات جديدة رخيصة التكلفة
تطورات متقدمة أكثر	تعدين وتطوير واستيطان المجموعة الشمسية	تحكم أكبر للتصميمات الهندسية	- المساعدة فى تحقيق اهداف الحواسيب - تنظيف البيئة
مزيد أخر من التطورات المتقدمة	رحلات السفر بين النجوم والمستعمرات الفضائية المناسبة	طاقة حاسوبية بأضعاف تبلغ تريليون المرات	- المساعدة فى تحقيق أهداف ارتياد الفضاء - إصلاح عام لأنسجة الجسم

تصنع المنتجات عادة لأن هناك عملاء ينتظرونها. وفي مناقشتنا هنا، إذاً وصفنا شيئًا لا يريده الناس، فالأرجح أنه لن يتم صنعه، وإذا صُنع فسرعان ما يختفى. (وهناك استثناءات مثل الفساد والقهر والأخطاء المستدامة، وهذه منتجات مهمة، ولكن فى سياقات أخرى). ولتعزيز مناقشتنا، فمن المفيد أن ننظر ليس إلى منتجات جديدة

تماما، ولكن إلى خصائص مستحدثة لمنتجات قديمة، أو طرق جديدة لتقديم خدمات قديمة. وهذا التوجه لايغطى أكثر من جزء بسيط مما هو ممكن، ولكنه سيبدأ من شىء معقول ويوفر نقطة انطلاق إلى الخيال والإبداع.

وكالعادة، نحن نصف إمكانيات ولا نطرح تنبؤات. والإمكانيات المطروحة هنا تنجم عن تطبيقات أكثر تعقيداً للتصنيع الجزيئى - منتجات التكنولوجيا النانوية التى تتضمن أجهزة نانوية الانتهاء منها. وسابقًا، ناقشنا المواد القوية، والآن نناقش بعض المواد الذكية.

المواد الذكية

الهدف من صُنع مواد ومنتجات ذكية ليس جديداً، فالباحثون يكافحون بالفعل لبناء إنشاءات يمكنها إنَّ "تحس" بالظروف الداخلية والبيئية وتُكيِّف نفسها بالشكل المناسب وفقًا لها. بل إنَّ هناك "مجلة منظومات وإنشاءات المواد الذكية". وباستخدام مواد يمكنها أن تكيِّف أشكالها، وأحيانًا تتصل بحاسات حواسيب بدأ المهندسون فى صنع أجسام ومنتجات تسمى "ذكية" وتلك هى الأسلاف الأولى للمواد الذكية التى سيجعلها التصنيع الجزيئى ممكنة.

واليوم، قد اعتدنا على وجود أجهزة ذات أجزاء متحركة ومرئية قليلة. ففى السيارات، العجلات تدور، وحاجبات الريح تتحرك يمينًا ويسارًا والهوائى يتحرك إلى أعلى وإلى أسفل، وأحزمة الأمان والمرايا وعجلة القيادة قد تتحرك بتأثير محرك السيارة. والمحركات الكهربائية صغيرة نسبيًا ومعتدلة التكلفة، ويمكن الوثوق بها بدرجة معقولة، ولذلك فهى شائعة إلى حد كبير. والنتيجة هى ظهور أجهزة ذكية ومرنة إلى حدٍ ما وبطريقة بدائية، ولكنها مرتفعة الثمن.

في سيناريو "وردة الصحراء" رأينا "خياماً" يتم تجميعها بواسطة تريليونات من أجزاء صغيرة للغاية دون مجهرية (أى لا يمكنك رؤيتها بالمجهر)، تشمل محركات وحواسيب وألياف وشدادات. ولو نظرت بعينك المجردة إلى مواد مصنوعة من تلك الأجزاء متناهية الصغر لرأيتها كقطعة ناعمة ومنتظمة من البلاستيك، أو من الخشب أو من القماش معقد التركيب، ويرجع كل ذلك إلى مظهر الأجزاء دون المجهرية. وتلك المحركات والأجزاء الأخرى تتكلف القطعة الواحدة منها أقل من جزء واحد من تريليون جزء من الدولار!. وهى ممتازة، ويمكن الاعتماد عليها إلى حدٍ كبير، وتصميمها الجيد يجعل أنظمتها تعمل بسلاسة حتى لو احترق ١٠٪ من تريليون محرك منها. وينطبق نفس هذا الكلام على الحواسيب وغيرها المتحكمة فى المحركات. والأجهزة الناتجة يمكن أن تكون ذكية ومرنة جداً، مقارنة بأجهزة اليوم، بالإضافة إلى أنها رخيصة الثمن.

وعندما تكون المواد ممتلئة بالمحركات وأجهزة التحكم فيها، فإنَّ كتلا ضخمة من المادة يمكن صنعها، بحيث تكون مرنة ويسهل التحكم فيها. ولا شك أنَّ تطبيقاتها ستكون واسعة ومتنوعة.

سيناريو: الطلاء الذكى

الأسطح التى حولنا، والأسطح التى من صنع الإنسان، مثل الجدران والأسقف والأرصفة، تغطى مناطق شاسعة تهم الناس وتؤثر فيهم. إذن كيف ستصنع المواد الذكية الفارق فى هذا المجال؟

جاءت الثورة فى التكنولوجيا وذهبت، وأنت تريد أن تعيد طلاء جدران مسكنك. إلا أن تنفس روائح المذيبات السامة والمياه الملوثة من فرش الطلاء أصبحت الآن من أمور الماضى، وذلك لأن الطلاء تم استبدال به الآن مادة ذكية. فقد شاهد منتصف القرن

العشرين تقدمًا هائلاً فى الدهانات، خصوصًا التطور فى السوائل التى لم تكن سوائل بالضبط، بل يتم فردها وفرشها بالفرشاة، ولكنها لا تسيح أو تتقاطر بتأثير وزنها. نعم كان ذلك تطورًا، لكن الآن نجد أنَّ المادة الجديدة "الطلاء الورقى للجدران" أكثر سهولة وفائدة.

يأتى الطلاء الورقى للجدران فى علبة بها مسطرين خاص وقلم. والطلاء الورقى ذاته عبارة عن كتلة جافة لها ملمس قطعة من الخشب. وباتباع التعليمات، يمكنك استخدام القلم لرسم خط حول حافة المساحة التى تريد طلاءها، ثم تضع العلامة (X) فى منتصفها لبيان أين تريد أن يوضع الطلاء. وهذا الخط مصنوع من حبر متلاش غير سام، بحيث يمكنك رشه فيما حولك بدون تلطيخ أى شىء. وباستخدام المسطرين تفتت الطلاء الورقى، وهذا سهل لأنه ينفصل عن بعضه البعض كقطعة زبد طرية، حتى لو كان يتصرف كجسم صلب بالنسبة إلى أى شىء آخر. نعم، إنها مادة ذات معدَّل ذكاء عال للغاية.

والآن، اضغط كتلة الطلاء على النقطة (X) وابدأ فى تسويتها بالمسطرين. كل شوط تسوية ينشر شريحة عريضة من الطلاء الورقى، أوسع بكثير عن عرض المسطرين، ولكنه يقع دائمًا داخل الخط المُحبر. بضعة أشواط تكفى لفرد الطلاء إلى حواف المساحة، حيث يرِّق هناك إلى طبقة منتظمة، إذن لماذا لا ينتشر الطلاء هناك؟.. لقد أظهرت التجربة أنَّ العملاء لايعبأون ببذل جهد لعمل بضعة أشواط بالمسطرين ويفضلون المزيد من التحكم.

يتكون الطلاء الورقى من عدد هائل من الأجهزة النانوية المزودة بعجلات صغيرة جدًا تتدحرج كل منها فوق الأخرى ووسادات لزجة صغيرة تلتصق بالأسطح. ولكل منها حاسوب بسيط بدائى على متنها. وكل منها يعطى إشارة لجيرانه. وكل تلك الكتلة تلتصق ببعضها البعض كجسم صلب معتاد، لكنها يمكن أنَّ تنزلق وتتزحزح بطريقة متحكم فيها عند استقبالها إشارة. وعندما تسويها بالمسطرين، يخبرها هذا التلامس

بأن تتحرك وتنتشر. وعندما تصطدم بخط الحافة، يخبرها ذلك بأن تتوقف. فإذا لم تصطدم بالخط، فإنها تنتشر لبضع مرات قدر عرض الكفّ، ثم تتوقف على أية حال إلى أنّ تسويها بالمسطرين مرة أخرى. وعندما تقابل أى خط بأحد الأجناب، فإنها تتجه وتتدافع لتكوين طبقة منتظمة ناعمة. وكل ما يُحَك هو مجرَّد غبار، إلا أنها تلتصق ببعضها البعض بدرجة كبيرة.

مادة الطلاء هذه لا تبلل أى شيء أبدا ولا تبقعه أو تلوثه، وهى تعلق بالأسطح بقوة كبيرة تحول دون تقشرها فجأة عنه. وحتى إذا بدأ طفل يحب التجارب العملية فى حفر الطلاء بعصا أو شق أو مزّق أو قشّر جزءاً منه، يمكن تسويته مرة أخرى، بحيث يتماسك كما لو كان جديداً. وربما يأكل طفل ما قطعة منه، غير أنّ التنظيم والاختبار الدقيقين ضمنا لنا أنّ ذلك ليس أسوأ من أكل قطعة ورق سادة (غير مسطَّرة) وأنه أكثر أمناً من أكل صفحة ملونة من جريدة "صنداى".

ومن الممكن استحداث كثير من التعديلات والتحسينات. وأى مسحات أو ضربات بالفرشاة، يمكن أن تزيد أو تقلل سمك مساحة ما منه، أو تسد الثقوب الصغيرة (بدون أى معجون لسد الثقوب!). وفى وجود مايكفى من الطلاء الورقى الذكى، وطريقة ما لبيان المطلوب منها أن تفعله، يمكنك أن تحصل على أى بنية تريدها للأسطح. وأى تصميم جيد سوف يمكن غسله، ولكن التصميم الأفضل هو أن يتخلص أو يزيل الأتربة والاتساخات تلقائياً بواسطة فرش مجهرية.

وبالطبع إزالة الطلاء الورقى للجدار سهلة، فما عليك سوى أنّ تشقه وتقشره (ولست محتاجًا إلى أى حك)، أو تحضر ذلك المسطرين وتُطبط القرص المدرج بساقه على كلمة "تقشير" ثم تثقب السطح بضع مرات هنا وهناك. وبأى من الطريقتين سوف تنتهى بكتلة جاهزة لإلقائها فى صندوق إعادة التدوير، ونفس الجدار القديم الذى بدأت به سوف يكون ظاهراً للعيان من جديد.

طلاء الطاقة

ربما لن يتم أبدا إنتاج منتج يُصنع بالضبط كالطلاء الورقى الذى وصفناه لتونا. ولعله سيكون من المحبط عدم إنتاج شيء جديد ممتاز فى الوقت الذى يكون فيه الطلاء الورقى الذكى ممكنًا تكنولوجيًا. ولكن مازال الطلاء الورقى للجدران يعطينا الإحساس بزيادة فهم بعض الخصائص والسمات التى نتوقعها فى المنتجات الذكية الجديدة، مثل زيادة مرونتها أو التحكم فيها. وبدون تحميل إمكانية أكبر فى الطلاء (على الرغم من أنَّ المرء لايرى سببًا واحدًا يمنعنا من ذلك)، دعنا نلقى نظرة على بعض الخصائص الذكية الأخرى التى قد يريدها المرء فى أى سطح.

الجدران والأسقف الخارجية وأسطح الرصف تتعرض لضوء الشمس، وضوء الشمس يحمل معه طاقة، وقد ثبت بالقطع أنَّ الأجهزة الجزيئية لديها القدرة على تحويل ضوء الشمس إلى طاقة مختزنة - والمصانع تفعل ذلك كل يوم. وحتى الآن يمكننا صنع خلايا شمسية تحوِّل الشمس إلى كهرباء بكفاءة تصل إلى ٣٠٪ أو نحو ذلك. والتصنيع الجزيئى لن يمكنه فقط جعل الخلايا الشمسية أرخص ثمنًا بكثير، بل يمكنه أيضا جعلها ضئيلة الحجم، بحيث يمكن إيلاجها داخل وحدات البناء المتحركة للطلاء الذكى.

ولكى يتمتع ذلك الطلاء بالكفاءة يجب أن يكون داكن اللون، أى يجب أن يمتص الكثير من الضوء الساقط عليه، واللون الأسود هو الأفضل، ولكن حتى الألوان الفاتحة يمكنها توليد بعض الكهرباء، كما أنَّ الكفاءة ليست كل شيء. وبمجرد فرش الطلاء، تندمج وحدات بنائها فى بعضها البعض لتجميع طاقتها الكهربائية ونقلها عن طريق قابس قياسى. ويمكن استخدام نوع أسمك وأقوى من تلك المادة لإعادة رصف الطبقة السطحية للطرق وتوليد كهرباء ثم نقلها عبر مسافات طويلة. ولأن رصف الطرق بخلايا شمسية ذكية يمكن تصميمه لزيادة سرعة انطلاق السيارات على الطرق، كما يمكن تصميم مادة مماثلة تتسم بمقاومة مدهشة لتسرب المياه لتسقيف المبانى، فإن تلك المادة سوف يشيع استخدامها.

وفى أى يوم مشمس، تقوم مساحة لا تزيد على بضع خطوات طولاً وعرضًا بتوليد كيلوات واحد من الطاقة الكهربائية. ومع استخدام بطاريات جيدة (وأيضًا عدد كافٍ من الطرق المعاد رصفها والمبانى التى يتم تسقيفها بخلايا شمسية) يمكن مواجهة الطلب الحالى على الكهرباء بدون حرق أى فحم أو استيراد نفط، أو توليد طاقة نووية، أو إقامة سدود كهرومائية، أو تخصيص أى أرض لتوليد الكهرباء من الخلايا الشمسية.

الطلاء الجميل والطلاءالصوتى

إن توهج الحباحب[٥] والأسماك التى تعيش فى أعماق البحار يبين لنا أنَّ الأجهزة الجزيئية يمكنها تحويل الطاقة الكيميائية المختزنة إلى ضوء. وكل أنواع الأجهزة المعتادة تبين أنَّ الكهرباء يمكن تحويلها إلى ضوء. وبالتصنيع الجزيئى، يمكن أن يتم هذا التحويل فى رقائق رفيعة، مع التحكم فى اللمعان ولون كل بقعة مجهرية. ويمكن استخدام هذا لنشر الضوء - الطلاء الورقى للأسقف الذى يتوهج. وبالمزيد من التحكم المتقن، يمكن أنَّ ينتج ذلك أعجوبة (أو رُعب) أوراق الحائط الفيديوية[٦].

ومن التكنولوجيا المطبقة حاليًا، نحن معتادون على شاشات عرض تضيءُ وتتألق. ومع التصنيع الجزيئى، سوف يكون من السهل جداً أيضًا إنتاج شاشات تُغير لونها مثل صفحة مطبوعة بحبر سائل (غير لزج). فالحرابى[٧] والأسماك المفلطحة مثلاً تغيِّر لونها بتغيير أماكن جسيمات ملونة بها، والأجهزة النانوية يمكنها أن تفعل ذلك. وعلى مستوى أكثر جزيئية، يمكنها استخدام صبغات انضباطية. مثلاً سرطانات البحر لونها أخضر رمادى داكن، ولكن عندما تطهى يتغير لونها إلى أحمر زاهٍ. معظم ذاك التغير

---

(٥) نوع من الحشرات التى بها أعضاء مضيئة. (المترجم)

(٦) أى الذى يتحرك مثل الأفلام التلفازية. (المترجم)

(٦) الحرابى جمع حرباء. (المترجم)

ينجم عن "إعادة ضبط" جزيئات الصبغة المربوطة داخل بروتين السرطان الحيّ، غير أنها تنطلق بالحرارة. وهذا التغيُّر الميكانيكى أساسًا يغير من لونه ويمكن استخدام نفس هذا المبدأ فى الأجهزة النانوية، ولكن بالعكس.

يعتمد مظهر أى سطح على كيفية عكسه أو إطلاقه للضوء. والأجهزة النانوية والإلكترونيات النانوية سوف تتمكن من التحكم فى ذلك فى حدود نطاقات واسعة. إنها ستتمكن من عمل ذلك الصوت، بالتحكم فى حركة السطح المصدر للصوت. وفى الأجهزة المجسِّمة للصوت، نجد أنَّ مكبِّر الصوت عبارة عن سطح متحرك، والأجهزة النانوية رائعة فى تحريك الأشياء كما هو مطلوب. وسيكون من السهل جعل أى سطح يُطلق صوتًا عالى الجودة. وبنفس تلك السهولة تقريبًا سوف يمكن للأسطح أن تنثنى بقوة لكى تمتص الصوت، بحيث يبدو أنَّ صوت نباح كلب موجود بالجانب المقابل من الشارع منعدم.

القماش الذكى

لو نظرنا بعمق أكبر إلى البيئات التى يعيش فيها البشر، لوجدنا الكثير من الأقمشة والمواد المرتبطة بها، مثل البسط (السجاجيد) والأحذية، إذ كانت صناعة المنسوجات فى صدارة الثورة الصناعية الأولى، وكذلك ستتركز تأثيرات الثورة الصناعية التالية على المنسوجات.

ومع التكنولوجيا النانوية، حتى أرق ألياف المنسوجات وخيوطها يمكن أن تكون لها أجهزة إحساس وحواسيب ومحركات كهربائية مدمجة فيها، نظير زيادة قليلة فى سعرها. ويمكن للأقمشة أنْ تشتمل على حاسات قادرة على اكتشاف الضوء والحرارة والضغط والرطوبة والإجهاد والبلَى، وشبكات من حواسيب بسيطة لدمج تلك البيانات، ومحركات كهربائية وألياف نانوية أخرى تستجيب لها. والأشياء العادية اليومية مثل

الأقمشـــة والحشــوات أو البطــانات يمكن صنعها بحيث تستجيب لاحتياجات الإنسان - أى تغير شكلها ولونها وبنيتها وملاءمتها وهلم جرا - من حيث الطقس وموقف أو وضعية الإنسان. ولعل تلك العملية تكون بطيئة ولعلها تكون سريعة بما يكفى للاستجابة لحركة الجسم أو لإشارة ما وإحدى نتائج ذلك قد تكون مقاس واحد أصلى من الملابس مناسب للجميع (وربما مقاس واحد أو أكثر للأطفال)، مجهّزة تماما بحيث تكون دافئة فى الشتاء وباردة وجافة فى الصيف.. وباختصار فإن التكنولوجيا النانوية يمكنها توفير كل ما يعد به المعلنون. وحتى الإعلانات الزائفة تعطى فكرة عن رغبات الناس واحتياجاتهم.

وخلال كل فترات التاريخ، واصل الجنس البشرى السعى الدؤوب تجاه صنع أحذية مريحة. وفى ظل وجود مواد يمكن تعديلها كلية، فإن الهدف الذى يبدو مستحيلاً - ألا وهو إنتاج أحذية تجمع بين جمال الشكل والراحة فى الاستخدام - سوف يتحقق فى النهاية. الأحذية يجب أن تحافظ على جفاف قدميك ودفئهما، ماعدا بالطبع فى القطب الشمالى، وتحفظهما باردتين باستثناء فى منطقة الاستواء، وأن تكون مريحة بقدر الإمكان عندما يخطو المرء وهو يرتديها.

الأثاث الذكى

الإنشاءات الموائمة سوف تكون مفيدة فى الأثاث، واليوم لدينا أثاث يتكيف مع جسم الإنسان، ولكنه يفعل ذلك بشكل أخرق وغير كامل. فهو يتكيف لأن الناس تقبض على وسادة ما ويحركونها إلى مكان آخر. أو المقعد يتكيَّف لأنه مزود بمفصلات ميكانيكية، ومن ثم يمكنه أنْ ينثنى أو ينفرد بصعوبة فى بعض الأماكن لكى يناسب مدى محدود من الأوضاع المفضلة. ويرى المرء من وقت إلى آخر قطع أثاث يزعم البعض أنها تقوم بتدليك أعضاء الجسم، ولكنها فى الحقيقة تهتز فقط.

تلك القيود ماهى إلا نتائج للتكاليف والضخامة وعدم الإتقان وعدم الموثوقية بتلك الأشياء مثل الأجزاء المتحركة والمحركات الكهربائية والحاسات والحواسيب فى الوقت الحاضر ولكن مع التصنيع الجزيئى، سوف يكون من السهل صنع أثاث من مواد ذكية يمكنها أن تتواءم أو تتكيف مع جسم الإنسان ومع أوضاع جسمه المتغيرة، وبحيث توفر له دائمًا الراحة والمساندة. فمثلاً الوسائد الذكية يمكنها أن تقوم بعمل جيد هو الاستجابة لحركات المرء مثل الربت عليها أو حضنها أو شدها أو ضربها. وفى مجال التدليك، فإنَّ قطعة الأثاث مهما كانت متطورة الصنع ليست بالطبع كخبيرة التدليك. ولكن جلسة التدليك المعتادة على كرسى ذكى لن يكون معناها اليوم هو "اهتز بقوة" وإنما شىء أقرب ما يكون إلى "خمس دقائق من الشياتسو"[٨] (التدليك بالأصابع وراحتى اليدين).

وهلم جرا...

هذه الجولة الشاملة لإمكانات المواد الذكية أظهرت لنا أنه يمكننا الحصول على جدران يكون شكلها وصوتها كما نريد، وكذا ملابس وأحذية وأثاثات مريحة لنا تماما، وأيضًا طاقة شمسية نظيفة. وكما يتوقع المرء، فإن كل ذلك مجردً بداية.

إذا كنت مهتما بالتفكير فى المزيد من التطبيقات، فها هى بعض القواعد الأساسية: المكونات أو الأجزاء التى تنتجها عمليات التصنيع الجزيئى، يمكنها أن تكون أقوى عشرات المرات من الفولاذ، غير أنَّ المواد المصنوعة بخلط مكونات مختلفة تكون أضعف. وبالنسبة إلى تلك المواد، فإن "الوصول إلى قوة تحمل تتراوح من غزل البنات إلى الفولاذ يبدو ممكنًا تحقيقه. وتلك المكونات سوف تستجيب إلى الحرارة، غير أنها فى درجات الحرارة المرتفعة سوف تتفتت وتحترق. والكثير من تلك المواد سوف يمكنها

٨- Shiatsy كلمة يابانية تعنى التدليك بالأصابع وراحتى اليد. (المترجم)

تحمل درجة حرارة غليان الماء، غير أنَّ التصميمات الخاصة منها فقط هي التي تستطيع تحمل درجة حرارة الفرن. ويجب أن يكون التحكم في اللون والشكل وعادة الصوت ممكنًا. والأسطح يمكن أن تكون ناعمة ومعزولة بإحكام (وهذا يحتاج إلى مهارة من نوع ما). والتحركات يمكن أن تكون سريعة إلى حدٍ ما.

ويتعين توفير الكهرباء من مكان ما، وتشمل المصادر الجيدة: الكهرباء، الطاقة الكيميائية المختزنة والضوء. وإذا غمرنا الأجهزة النانوية أو المواد الذكية في السوائل، يمكن أن تأتي الطاقة الكيميائية من الجزيئات الذائبة في تلك السوائل. فإذا تم ذلك في العراء، فيمكن أن تأتي الطاقة من الضوء، وإذا تم ذلك في مكان واحد، يمكن توصيلها بمقبس الكهرباء، وإذا كانت تتحرك في الظلام، يمكن تشغيلها بالبطاريات لبعض الوقت ثم توقف وتترك. والواقع أنه يمكن إنجاز الكثير داخل تلك الحدود.

كلمة "ذكي" تعبير نِسَبيّ ومالم ترد أن تفترض أنَّ الناس يتعلمون الكثير عن الذكاء والبرمجة، فمن الأفضل أن تفترض أن تلك المواد سوف تتبع قواعد بسيطة، مثل تلك المواد التي تتبع أجزاء معينة من رسومات تظهر على شاشة الحاسوب. وفي تلك الرسومات، يمكن توجيه أمر إلى صورة مستطيل لكي تظهر أذرع بأركانها، ويؤدي جذب إحدى تلك الأذرع إلى إطالة المستطيل أو تقصيره بدون تشويه أركانه وزواياه القائمة. والجسم المصنوع من مادة ذكية يمكنه أن يفعل مثل ذلك في العالم الواقعي: مثلاً أي علبة يمكن فردها إلى أي حجم نشاء، ثم نعيدها صلبة من جديد، أو أي باب في جدار مصنوع من مادة ذكية يمكننا غلق مكانه وتحريك إطاره خطوة واحدة إلى اليسار، ثم إعادته إلى استخدامه المعتاد.

ويبدو أنه ليس ثمة مبرر قوي لجعل أجزاء من المادة الذكية مستقلة أو مستنسخة ذاتيًا أو سامة. فمع توفر العناية اللازمة. يتعين أن تكون المادة الذكية أكثر أمنًا عن تلك التي تحل محلها، ذلك لأنه سوف يتم التحكم فيها بشكل أفضل. فمثلاً الطلاء الذي

نرشه فوق كل الأشياء يحتوى على مواد سامة، لكن الطلاء الورقى الذى شرحناه سابقًا ليس كذلك. وهذا بالتأكيد فرق واضح، إذا راعينا توخى العناية والحذر لتشجيع إنتاج الأشياء والمنتجات الآمنة والصديقة للبيئة.

التكاليف المنخفضة

من الممتع أن نناقش منتجات رائعة جديدة، لكنها لن تشكل أى فارق فى العالم إذا كانت مرتفعة الثمن للغاية. وعلاوة على ذلك، فكثير من الناس فى الوقت الحاضر لا يجدون طعامًا أو ملابس بسيطة أو سقفًا معقولاً فوق رؤوسهم، ناهيك بالطبع عن "المواد الثانوية الراقية".

التكاليف تهم الناس. وبالطبع يوجد فى الحياة الكثير بخلاف السلع اللازمة للناس، ولكن بدون تلك السلع فإنَّ الحياة تكون صعبة وبائسة. أما إذا كانت السلع باهظة الثمن، فإنَّ الناس يكدون من أجل الحصول عليها، وإذا كانت متوفرة بكثرة، ربما يحوِّل الناس اهتمامهم إلى شيء آخر. وبعضنا يحب أن يعتقد أننا لا نقلق بخصوص السلع المتباينة، بيد أنَّ ذلك يبدو أكثر شيوعا فى الدول الغنية. وتقليل تكاليف التصنيع هو أمر دنيوى، ولكن هذا ينطبق أيضًا على إطعام الناس وتوفير مساكن لهم وإنشاء منظومات صرف صحى حتى لا يموتوا من الكوليرا والتهابات الكبد. ولكل تلك الأسباب، فإنَّ البحث عن طرق لتقليل تكاليف إنتاج السلع هو هدف يستحق أن نتعب من أجله.

وبالنسبة إلى الفقراء والبيئة التى يعيشون فيها، وإلى تحرير قدرات الإنسان الكامنة لديه، فإن التكاليف تهم للغاية. والآن لنلق نظرة عن قرب على تكاليف التصنيع الجزيئى.

هل يمكن أن يكون انخفاض التكاليف واقعيا ؟

التضخم يولد لدينا إحساساً بأن التكاليف ازدادت، بينما القصة الحقيقية هى أنَّ قيمة النقود تنخفض. وعلى المدى القصير، فإنَّ التكاليف الفعلية لا تتغير عادة بسرعة، ويمكن أن ينتج عن ذلك توهمًا بأنَّ التكاليف أمور أو حقائق ثابتة فى الطبيعة، مثل قانون الجاذبية أو قوانين الديناميكا الحرارية مثلاً!

ولكن فى العالم الواقعى الذى نعيش فيه، معظم الأسعار آخذة فى الانخفاض بدرجة كبيرة، وذلك بقدر الجهد البشرى اللازم لإنتاج السلع والمنتجات. ويمكن للناس شراء المزيد والمزيد منها، لأن قوتهم العاملة المعززة بالآلات يمكنها إنتاج المزيد والمزيد منها. وهذا التغير المثير تم عبر قرون وبنفس الدرجة من الإثارة عبر الفجوة بين العالم الثالث والدول المتقدمة. إنَّ الارتفاع من مستوى دول العالم الثالث إلى مستوى معيشة العالم المتقدم قد زاد من الدخول (وقلل من تكلفة وقت العمل) بأكثر من عشرة أضعاف. فما الذى يمكن إذن للتصنيع الجزيئى أن يفعله؟

لقد حدثت تخفيضات كبيرة فى التكلفة، أكثرها إثارة فى مجال الحواسيب. فقد انخفضت تكلفة الحاسوب الذى لديه قدرة معينة بمعدل يبلغ ١٠: ١ تقريبًا كل سبع سنوات منذ أربعينيات القرن العشرين. وإجمالا، فإنَّ هذا يساوى معدل مليون. ولو فعلت تكنولوجيات السيارات الأمر نفسه، فإن السيارة الفاخرة سوف تساوى الآن أقل من سنت واحد!. (أجهزة الحواسيب الشخصية مازالت تساوى مئات من الدولارات، لأن إمكانياتها أكثر من تلك الحواسيب العملاقة التى صُنعت فى أربعينيات القرن العشرين، وأيضًا لأن تكلفة شراء أى جهاز حاسوب مفيد يتضمن أكثر بكثير من مجرَّد تكلفة رقاقات الحاسوب).

التكاليف: تقدير أولى

ترتبط بعض التكاليف بنوع معين من المنتجات، بغض النظر عن عدد النسخ التى صنعت منها، ويشمل ذلك تكاليف التصميم وتكاليف الترخيص للتكنولوجيا العلمية، وتكاليف الموافقات الرسمية، وهلم جرا. وترتبط تكاليف أخرى بكل واحدة من المنتجات (أى تكلفة الوحدة)، وتشمل تكاليف العمالة والطاقة والمواد الخام ومعدات التصنيع ومواقع الإنتاج والتأمين والتخلص من النفايات والتكلفة الخاصة بالنوع يمكن أن تنخفض كثيراً إذا أصبحت دورات الإنتاج كبيرة. وإذا ظلت التكاليف عالية. يكون سبب ذلك هو أنَّ الناس يفضلون المنتجات الجديدة لفوائدها ومزاياها المستحدثة على الرغم من تكلفتها، ويعد هذا بالكاد سبباً للشكوى.

التكلفة الأكثر أساسية وأسهل فى تحليلها هى تكلفة الوحدة. والصورة التى يحسن أن نحفظها فى أذهاننا هى صناعات شركة وردة الصحراء، حيث تقوم الأجهزة الجزيئية بالجانب الأكبر من العمل، وحيث تُصنع المنتجات من أجزاء تنتج فى النهاية من مواد كيميائية بسيطة. ولنلق الآن نظرة على بعض مكونات التكلفة.

الطاقة: لا يحتاج التصنيع عند المستوى الجزيئى إلى استخدام الكثير من الطاقة. والمصانع تنتج بلايين الأطنان من مواد متقنة التصميم كل عام باستخدام الطاقة الشمسية المتاحة. والتصنيع الجزيئى يمكن أن يكون ذا كفاءة، بمعنى أنَّ الطاقة اللازمة لصنع وحدة من المنتج يجب أن تكون متناسبة مع الطاقة المحررة، أثناء حرق كتلة مساوية من الخشب أو الفحم. فإذا تم الإمداد بالطاقة فى شكل كهرباء بتكلفة اليوم، فإنَّ تكلفة طاقة التصنيع سوف تبلغ حوالى دولار واحد لكل كيلو جرام. وسوف نعود فيما بعد إلى موضوع تكلفة الطاقة.

المواد الخام: التصنيع الجزيئى لا يحتاج إلى مواد خام غريبة كمدخلات فى الإنتاج المواد المعتادة تكون كافية، ويعنى ذلك عدم استخدام المواد الغريبة عن أنواع

الوقود والخامات المألوفة فى العمليات الصناعية، التى تستخرج الآن من النفط والكتلة الحيوية ـ البنزين والميثانول والأمونيا والهيدروجين ـ ويتكلف ذلك عادة عشرات السنتات لكل كيلو جرام. فإذا استخدمت مركبات غير تقليدية، فيمكن صنعها داخليًا. ويمكن تجنب العناصر النادرة، غير أنها تكون مفيدة بمقادير ضئيلة. وسوف يكون إجمالى مقدار المواد الخام المستهلكة أقل منها فى عمليات التصنيع التقليدية، حيث لن يتبدَّد منها إلا القليل فقط.

المعدات الرأسمالية والصيانة: كما رأينا فى سيناريو وردة الصحراء، فإنَّ التصنيع الجزيئى يمكن أن يُستخدم لصنع كل المعدات والأجهزة اللازمة للتصنيع الجزيئى ذاته. ويبدو أنَّ هذه المعدات والأجهزة ـ التى تشمل كل شىء من الأحواض أو الخزانات الضخمة إلى المجمعات دون المجهرية ذات الأغراض الخاصة ـ يمكن أن يوثق بها بشكل معقول، لمدة شهور أو سنين قبل إعادة تدويرها واستبدالها. فإذا تكلفت الوحدة من هذه المعدات عدة دولارات/ كيلو جرام، وأنتجت آلافًا كثيرة من الكليو جرامات من المنتجات طوال حياتها التشغيلية، فإن تكلفة هذه الوحدة سوف تضيف القليل إلى تكلفة المنتج الواحد.

التخلص من النفايات: يتم حاليا التخلص من نفايات التصنيع بإلقائها فى الهواء والماء وأماكن ردم القمامة. لكن ليس ثمة سبب لوجود تلك النفايات فى التصنيع الجزيئى، إذ إنَّ الفضلات من هذا النوع التى تلفظ حاليًا فى البيئة يمكن بدلاً من ذلك إعادة تدويرها بالكامل داخليًا، أو تخرج من العملية التصنيعية فى شكل نقى جاهز لاستخدامها فى عملية تصنيعية أخرى. وفى العمليات المتطورة، تكون النفايات عبارة عن ذرات متروكة أو متخلفة من خلط شىء للمواد الخام المستخدمة فيها. ومعظم تلك الذرات المتخلفة تكون عبارة عن معادن عادية وغازات بسيطة مثل الأكسجين، وهو النفاية الرئيسية للأجهزة الجزيئية بالمصانع. والتصنيع الجزيئى لا ينتج عناصر جديدة، وإذا خرج منها زرنيخ مثلاً فلا بد أنه قد دخل فيها أصلاً، وبالتالى لا يمكن

لوم العملية الصناعية على وجوده. وأى مادة سامة أساسًا من هذا النوع يمكن على الأقل وضعها فى أكثر الأشكال التى نستطيع التوصل إليها أمانًا من أجل التخلص منها. وأحد الخيارات الممكنة هو ربطها كيميائيا بمعدن مستقر ثم إعادتها من حيث أتت.

العمالة: بمجرد تشغيل أحد المصانع، يجب أن يحتاج إلى عدد قليل من العمال (سوف يتغير ما يفعله الناس بوقتهم، مالم يستمر تشغيل المصانع بمعرفة هواة وليس محترفين). وشركة وردة الصحراء الصناعية كان يديرها شخصان، ومع ذلك فقد كانت تنتج كميات كبيرة من السلع المتباينة. وعمليات التصنيع الجزيئى الرئيسية على مستوى الجزيئات يجب أن تتم آليًا، لأنها أصغر من أن يمكن للأشخاص التعامل معها. أما العمليات الأخرى فتتسم بالبساطة ويمكن تدعيمها بمعدات للتعامل مع المواد والمعلومات.

الحيز: حتى مصنع التصنيع الجزيئى المعتمد على التكنولوجيا النانوية يشغل حيزا، ولكنه يمكن أنْ يكون أصغر من مصانع التصنيع المألوفة، ويمكن إقامته من مكان منعزل على أرض رخيصة الثمن. وسوف تكون تلك التكاليف قليلة بمقاييسنا الحالية.

التأمين: سوف تتوقف التكلفة على وضع القانون، ولكن يمكننا هنا عقد بعض المقارنات. يمكن جعل الحاسات وأجهزة الإنذار المحسنة جزءًا لا يتجزأ من المنتجات، وسوف يقلل ذلك من أقساط التأمين ضد الحريق والسرقة، ويلزم تخفيض تكاليف التزامات المنتجات، وذلك بصنع منتجات أكثر أمانًا وأكثر موثوقية (سوف نتعرض لموضوع سلامة المنتجات فيما بعد فى الفصل الثانى عشر). وسوف تقل معدلات إصابة العاملين والموظفين بعد تقليل العمالة. غير أن المنظومة القانونية فى الولايات المتحدة أظهرت ميلا مقلقا لمنع أى مخاطرة جديدة مهما كانت صغيرة، حتى لو دفع ذلك الناس إلى استمرار معاناتهم من المخاطر القديمة التى قد تكون أحيانًا أكبر منها. وعندما يحدث ذلك، فإننا نقتل أناسًا مجهولين باسم الأمان. فإذا رفع هذا التصرف من أقساط التأمين بطريقة ضارة، فإن ذلك سيحول دون التحول إلى تكنولوجيات تصنيع

أكثر أمانًا. وحيث إنَّ مثل تلك التكاليف يمكن أن تزيد أو تقل تبعا للعالم الفعلى للهندسة والرفاهية البشرية، فإنها تخرج عن نطاق قدرتنا على تقديرها.

المبيعات والتوزيع والتدريب... إلخ: تتوقف تلك التكاليف على المنتج، مثلاً هل هو شائع مثل البطاطس، وهل يسهل استخدامه؟.. أو هل هو نادر الاستخدام ومعقد، بحيث يكون تحديد ما تريده منه ومن أين تحصل عليه وكيف تستخدمه هى المشاكل الحقيقية الرئيسية؟.. إنَّ تكاليف تلك الخدمات حقيقية، ولكن يمكن تفرقتها عن تكاليف المنتج ذاته.

والخلاصة أنَّ التصنيع الجزيئى يجب أن يُفضى فى النهاية إلى تخفيض التكاليف. وبالطبع فإنَّ النفقات الأولية لتطوير التكنولوجيا والمنتجات الخاصة بها جوهرية، ولكن تكلفة الإنتاج بواسطتها يمكن أن تقل. وتكاليف الطاقة (بالأسعار الحالية) وتكاليف المواد (مثلها) سوف تكون كبيرة ولكن ليست هائلة. لقد كانت تحسب تلك التكاليف من قبل على أساس كل كيلو جرام من المنتج، ولكن منتجات التكنولوجيا النانوية باعتبارها تصنع من المواد أفضل بكثير، سوف تزن جزءًا فقط من وزن المنتجات المألوفة لنا الآن. (مثلا الصابورة[٩]، إذا لزمت، ستكون برخص التراب). وسوف يتم تخفيض تكاليف كل من المعدات والأرض والتخلص من النفايات والعمالة بسبب طبيعة التكنولوجيا ذاتها.

سوف تعتمد تكاليف التصميم والتنظيم والتأمين بقوة على الأذواق البشرية وهذه أشياء لا يمكن التنبؤ بها. والمنتجات الأساسية، مثل الملابس والإسكان، يمكن أن تصبح رخيصة مالم نفعل شيئًا ما للإبقاء عليها باهظة الثمن. وعندما تهبط تكلفة الأمان المُحسَّن، سوف تصبح لدينا مبررات أقل لقبول منتجات غير آمنة. والتصنيع الجزيئى يستخدم عمليات تتسم بالكفاءة والتحكم تمامًا مثل العمليات الجزيئية التى تحدث فى المصانع. ومنتجاتها يمكن أن تصبح رخيصة مثل البطاطس. وقد يبدو للوهلة

---

(٩) ثقل الموازنة ويستخدم لحفظ توازن السفينة أو المنطاد. (المترجم)

الأولى أنَّ هذا شيء لا يمكن تحقيقه (والواقع أنَّ هناك عيوبا ونقاط ضعف، كما سوف نرى).. ولكن لماذا لا يمكن تحقيقه؟.. ألا نتوقع ظهور تغيرات كبيرة تقترن باستبدال التكنولوجيا المعاصرة؟

دورة من هبوط التكاليف

التقدير السابق تبنى افتراضًا متحفظًا بشأن التكاليف المستقبلية، وهو أن الطاقة والمواد سوف تتكلفان وقتئذ ما تتكلفانه الآن، قبل بدء العمل بالتصنيع الجزيئى. والحقيقة أنهما لن يفعلا ذلك، لأن التكاليف المنخفضة تقود إلى تكاليف أخرى منخفضة.

دعنا نقل إنَّ صنع كيلو جرام واحد من المنتج بالتصنيع الجزيئى يتكلف دولارًا واحدًا لكل كيلو جرام من الخامات، وأربعة دولارات لاستهلاك كبير من الكهرباء قدره أربعون كيلو وات/ ساعات. وهذه هى الأسعار المعتادة حاليا للخامات والطاقة الكهربائية. والآن افترض للحظة أنَّ التكاليف الأخرى صغيرة. إحدى نتائج المنتجات التى تتكلف خمسة دولارات لكل كيلوجرام قد تكون طلاء الخلايا الشمسية الذى سترصف به الطرق. إذ إنَّ طبقة من الطلاء تبلغ سماكتها بضعة أجزاء من مليون جزء من المتر تتكلف حوالى ٥ سنت/متر مربع من المنتج، وتولد طاقة كهربائية تكفى لصنع متر مربع آخر من الطلاء فى أقل من أسبوع، حتى لو أخذنا فى اعتبارنا أوقات الليل والغطاء المعتدل من السحب. وهكذا يصبح وقت استرداد تكلفة الطاقة قصيرًا.

دعنا نفترض أنَّ هذا الطلاء الذكى يتكلف (مبلغا مساويًا) لينتشر ويلتصق بالسطح كما يفعل، وإننا نطلب أن يعوِّض تكلفته فى شهر واحد فقط، وبالتالى، فإننا نحمِّل التكلفة بمقدار ١٠ سنت/متر مربع من الطلاء فى الشهر. وبهذا السعر تكون تكلفة الطاقة الشمسية المتولدة من الطرق المعاد رصفها بالطلاء حوالى ٠,٠٠٤

دولار/كيلوات ساعة، أى أقل من جزء واحد من عشرين جزءًا من تكلفة الطاقة المفترضة فى التقدير الأولى لتكلفة الإنتاج. ويؤدى ذلك، من تلقاء نفسه إلى هبوط تكلفة الإنتاج إلى جزء فقط مما كان عليه من قبل. ومعظم هذا الجزء المتبقى عبارة عن تكلفة المواد الداخلة فى التصنيع.

يبدو أنَّ منتجات التكنولوجيا النانوية سوف تتكون أساسًا من كربون (إذا كانت التوقعات الحالية ذات دلالة ما)، كما أنَّ غاز ثانى أكسيد الكربون متوفر فى الجو فى أيامنا هذه. ومع رخص الطاقة بهذا الشكل، يمكن استخدام الجو مصدرا للكربون (وأيضًا الهيدروجين والنيتروجين والأكسجين). ويصبح سعر الكربون بضعة سنتات لكل كيلو جرام، أى تقريبًا جزء واحد من عشرين جزء من السعر الأصلى للمواد الخام.

ولكن الآن، فإنَّ سعر كل من الطاقة والخامات مجرد جزء واحد من عشرين جزء من السعر الأصلى لها، وهكذا تصبح المنتجات أرخص سعرا، ويشمل ذلك المنتجات المنتجة للطاقة وأيضًا المنتجات المنتجة للخامات (مثل تنظيف الجو... إلخ).

السيناريو السابق بسيط فعلاً، ولكنه يبدو واقعيًا فى إطاره العام، أى إنَّ انخفاض التكاليف يؤدى إلى انخفاض تالٍ فى التكاليف. . ولكن من الصعب التقدير الدقيق لمدى سير هذه العملية، غير أنه يمكن لها أن تنطلق إلى مدى بعيد للغاية.

طاقة رخيصة للغاية بحيث يتعذر قياسها؟

هذا الاستعراض سوف يذكّر بعض القراء بقضية قديمة، هى أنَّ الطاقة النووية يمكن أن تشكّل "طاقة رخيصة جدًا بحيث يصعب قياسها". وهذا التصريح المنسوب إلى العصر النووى الأول، استقر فى ذاكرة الشعوب على أنه إنذار للمتشككين فى

التكنولوجيات التي تبشر بأشياء رائعة. ولكن هل ينطبق ذلك الإنذار على موضوعنا هذا؟

أي شخص يدّعي أنَّ شيئًا ما مجاني، لا يدرى شيئًا عن الاقتصاد ولا يفهمه. إن استعمال أي شيء يكون له ثمن عادة يساوي البديل الأكثر قيمة لهذا الشيء. واختيار بديل ما يعني التضحية ببديل آخر، وتلك التضحية هي التكلفة، وكما يقول الاقتصادي "فيليب ك. سالين" : "ولا يوجد شيء اسمه فرصة مجانية"، ذلك أنَّ الفرص تتكلف عادة (على الأقل) وقتا واهتماماً. والتكنولوجيا النانوية لن تعنى أبدا إنتاج منتجات مجانية.

ولكن يمكن للمرء أن يُجادل أنَّ الطاقة النووية لم تكن رخيصة في أي وقت من الأوقات الماضية. وإذا كانت التكنولوجيات فاشلة عندئذ، فلماذا نعتقد بشيء مماثل في الوقت الحاضر؟. إننا سعداء للإبلاغ عن أن تلك المزاعم ليست متماثلة، فأي زعم بأنَّ "الطاقة النووية طاقة رخيصة جداً. بحيث يصعب قياسها" ماهو إلا زعم أحمق، حتى لو توفرت المعرفة في ذلك الوقت، واتضح أنَّ نقاشنا ليس كذلك.

المفاعلات النووية تغلي الماء لإنتاج بخار لتشغيل مولدات كهربائية تولد طاقة كهربائية وتدفعها في خطوط نقل الكهرباء، ثم إلى محولات ومنها إلى كابلات الكهرباء المحلية ثم إلى المنازل والمصانع والمكاتب... إلخ. وأكثر المتفائلين لم يزعم قط أنَّ الطاقة النووية كانت مصدراً مجانيًا لأي شيء أكثر من الحرارة، وأي شخص واقعي يمكنه أن يضيف تكاليف أجهزة ومعدات المفاعل، الوقود، للتخلص من النفايات، والمخاطر وغير ذلك. وحتى أكثر المتفائلين كان بمقدوره أن يضيف تكلفة بناء الغلاية والتوربينات والمولدات وخطوط نقل الكهرباء والمحولات، وأيضًا تكلفة صيانة كل ذلك. والمعروف أنَّ كل تلك التكاليف كانت تشكل جانبًا رئيسيًا من تكلفة الطاقة، وبالتالي، فإنَّ الحرارة

المجانية لا تعنى أبدا طاقة مجانية. ومن ثم، كان هذا الزعم أحمقَ منذ اليوم الذى طرح فيه، وليس بعد ذلك.

فى أوائل ستينيات القرن العشرين، كان "ألفين وينبيرج"، رئيس المعمل الوطنى بأوك ريدج، نصيراً قوياً للطاقة النووية، وزعم أنها سوف تصبح "طاقة رخيصة" كان الرجل متفائلا، لكنه أجرى حساباته. أولاً، افترض أنَّ المصانع التى تعمل بالطاقة النووية سوف تقام بشكل أرخص من المصانع التى تعمل بطاقة الفحم من نفس حجمها. ثم افترض أنَّ تكلفة الوقود والتخلص من النفايات وتشغيل وصيانة المصانع التى تعمل بالطاقة النووية سوف تكون أكثر بكثير من مجرد تكاليف تشغيل وصيانة المصانع التى تعمل بطاقة الفحم. ثم افترض أنها ستستمر لأكثر من ثلاثين عامًا. وأخيراً، افترض أنها ستشغَّل بمعرفة الجميع ولا تخضع لأى ضرائب وتحقق أرباحا منخفضة (التى فقط تحرك التكاليف إلى مجال آخر)، وأنه بعد ثلاثين عامًا يتم استهلاك تكلفة المعدات (وهو ما يمكن أن نسميه خيالاً علمياً فى المحاسبة). ولكل ذلك، استنبط تكلفة للطاقة يمكن أن تقل إلى درجة نصف تكلفة أرخص مصنع ذكره يعمل بطاقة الفحم. من الواضح أنه كان متفائلاً، لكنه لم يقترب من الزعم بأنَّ الطاقة أرخص من أن يمكن قياسها.

تكاليف منخفضة ولكنها ليست صفرًا

لقد صرخ الناس طالبين المساعدة دون مبرر[١٠]، قبل أنْ تؤدى التكنولوجيات الجديدة إلى وفرة هائلة فى المنتجات. ولعل هذا حدث أيضًا مع الطاقة النووية وطاقة البخار قبل ظهورهما، وربما حدث مع سواقى المياه والحصان والمحراث وتشظية الصخور[١١] قديمًا. لكن التصنيع الجزيئى مختلف؛ لأنه طريقة جديدة لعمل كل شىء تقريبًا، بما فى ذلك المزيد من المعدات اللازمة لتنفيذ هذا التصنيع. والحقيقة أنه لم يحدث قط من قبل شيئًا كهذا.

الزعم الرئيسى للإنتاج منخفض التكلفة هو هذا: التصنيع الجزيئى سوف يمكنه إنتاج أى شىء بالقليل من العمالة أو الأرض أو الصيانة، مع الكثير من الإنتاجية ومتطلبات متواضعة من المواد والطاقة. ومنتجاته ذاتها سوف تكون عالية الإنتاجية فى ذاتها، إما كمنتجات للطاقة أو مجمعات للمواد أو معدات إنتاجية، لم تظهر من قبل تكنولوجيا تجمع بين كل هذه المجموعة من الخصائص، ولذلك يجب أن نستخدم متماثلات تاريخية ولكن بعناية وحذر. ولعل أفضل تماثل هو هذا: التصنيع سوف يفعل للعمليات الإنتاجية مافعله الحاسوب فى عمليات معالجة البيانات.

لكن سوف تكون هناك دائما تكاليف حدية، لأن المصادر – سواء الطاقة أو المادة أو مهارة التصميم – كان لها دائما استخدام بديل معيّن. والتكاليف لن تهبط إلى صفر أبدًا، ولكن يبدو أنها يمكن أن تنخفض انخفاضًا كبيرًا.

(١٠) To Cry Wolf يحذر من خطر ولا خطر هناك. (المترجم)

(١١) تقطيع الصخور. (المترجم)

الفصل الثامن

طرح الأساسيات وأكثر من ذلك

الجوعى والمشردون والمطاردون لا يتوفر لهم سوى القليل من الوقت أو الطاقة لتكريسها للعلاقات البشرية أو التنمية الشخصية. والغذاء والمأوى والأمن ليست كل شيء، لكنها قضايا رئيسية. ولعل الوفرة المادية هى أفضل طريقة معروفة لتولد احتقاراً للأشياء المادية والقلق لما وراءها. ومن هذا المنطلق، دعنا نلقى نظرة جديدة على كيفية توفير أكوام من الثروة المادية الأساسية، حيثما يوجد فقر فى الوقت الحاضر.

إنَّ فكرة رفع كل إنسان موجود فى العالم إلى مستوى معيشة لائق، تبدو الآن مثالية ولكنها غير عملية. والفقراء فى العالم كثيرون والأثرياء قليلون، ومع ذلك فإنَّ موارد الأرض الطبيعية تم استنفادها بالفعل بواسطة تكنولوجياتنا الزراعية والصناعية البدائية الفجَّة. فطوال سبعينيات القرن العشرين وثمانينياته حينما ازداد الوعى بتأثير الزيادة فى أعداد البشر والتلوث على البيئة، بدأ كثير من الناس يصارع شبح تناقص الثروة. والقليلون فقط هم الذين فكروا فى كيفية الحياة فى عالم يتمتع بثروة مادية أكبر، لأن ذلك يبدو من المستحيل حدوثه. وأى مناقشة لمثل تلك الأشياء سوف يكون من الحتمى أن تتصف بنفحة من خمسينيات القرن العشرين وستينياته، كالقول مثلا: "يا إلهى! يمكننا أن نصنع سيارات فائقة ومساكن أفضل (بدلا من التقليدية) عن طريق الكيمياء".

وعلى المدى الطويل، مالم يتم تقييد الزيادة السكانية، سوف يكون من المستحيل الحفاظ على مستوى حياة لائق لكل إنسان. وهذه حقيقة أساسية، وتجاهلها يعنى ببساطة تدمير مستقبلنا. ومع ذلك، فهناك وقت قريب سوف يرتفع فيه مستوى معيشة أفقر إنسان فى العالم إلى الحد الذى يحسده عليه أغنى أغنياء العالم حاليًا. والنقطة الجوهرية هنا هى الكفاءة أو إنتاج سلع مرتفعة الجودة بتكلفة منخفضة. وسواء استخدمنا ذلك لتحقيق الأهداف التى ننشدها أم لا، فذاك فى الحقيقة أكثر من مجرد سؤال عن التكنولوجيا.

وهنا، مثلما الحال فى الفصلين التاليين، سوف نواصل التركيز على كيف يمكن للتكنولوجيات الجديدة أن تخدم الأهداف الإيجابية. يوجد الكثير الذى يمكن قوله، ومن الضرورى قوله، جزئيًا لأن الأهداف الإيجابية يمكن من جهة ما أن تزيح جانبًا الأهداف السلبية. ونحن نطالب القراء الذين أزعجهم ما يبدو أنه نبرة متفائلة من جانبنا، بالصبر كما نطالبهم بتخيل موقف المؤلفين لمشاركتهم مخاوفهم بشأن إمكان سوء استخدام تكنولوجياتهم الجبارة، وأن الأهداف الإيجابية قد تنتهى بدمار وحطام، وأن الجنة المادية قد تحتضن بداخلها البؤس البشرى. وسوف يستعرض الفصلان الحادى عشر والثانى عشر، القيود أو الحدود والحوادث وسوء الاستخدام.

التكنولوجيا النانوية فى العالم الثالث

فى إطار النطاق المتعلق بالثروة، تشكل الدول النامية أصعب حالة تواجهنا. تُرى هل يمكن لقدرة متطورة كالتكنولوجيا النانوية المعتمدة على الأجهزة الجزيئية أن تفيد العالم الثالث؟.. إجابتنا على هذا السؤال هى: نعم. والزراعة هى العمود الفقرى لاقتصاديات العالم الثالث حاليًا، والزراعة تعتمد على الأجهزة الجزيئية الموجودة بالفعل فى الطبيعة بالنسبة إلى محاصيل القمح والأرز والبطاطا، وما شابه ذلك.

يفتقر العالم الثالث إلى المعدات والمهارات (وغالبًا ما يُعانى أيضًا من مشاكل حكومية، ولكن هذه قصة أخرى). وبمقدور التصنيع الجزيئى أن يصنع معدات رخيصة بما يكفى لشراء الفقراء لها أو لتوفير وكالات الغوث والمساعدة لها. ويشمل ذلك المعدات التى تصنع المزيد من المعدات الأخرى، ومن ثم تقل درجة التبعية لدول أجنبية. وبالنسبة إلى المهارات، يتطلب التصنيع الجزيئى القليل من العمالة من أى نوع، وسوف تتطور المهارة القليلة مع الوقت. ومع تقدم التكنولوجيا، يصبح المزيد من المنتجات قادرًا على الاستخدام السهل للمواد الذكية.

سوف يُمَكِّن التصنيع الجزيئى المجتمعات الأكثر فقرًا من تجنب العمليات الصعبة والبغيضة للثورة الصناعية. إذ يمكنها صنع منتجات أرخص وأسهل فى استخدامها من البطاطا والأرز أو الماعز أو جاموس الماء. ومع توفر منتجات مثل الحواسيب الفائقة الرخيصة المزوَّدة بقواعد بيانات هائلة من الكتابات والأنشطة الحية المُشاهدة بشاشات ملونة ثلاثية الأبعاد، يمكن نشر المعرفة إلى آفاق أرحب.

ودور التكنولوجيا النانوية فى الدول الأكثر فقرًا لن يُقلق المطورين الأوائل لها، إذ إنهم يعملون فى الحكومة أو المختبرات التجارية بالدول الأكثر ثراء، ويتابعون المشاكل المقلقة للناس هناك. غير أن التاريخ مليء بنتائج كانت غير مقصودة وبعضها كان إلى الأفضل.

الإنشاء والإسكان

يعُد إنشاء مشروعات ضخمة جوهريًا لحل مشكلة الإسكان والنقل. وفى هذا الصدد يمكن الاستفادة من المواد الذكية.

واليوم نجد أن تشييد المبانى يتكلف كثيرًا، كما أنَّ استبدالها يتكلف الكثير، علاوة على أن جعلها مقاومة للحرائق والزلازل والأعاصير، وما شابه ذلك مكلِّف أيضًا. وإقامة

مبانى شاهقة الارتفاع مكلف وجعل جدرانه عازلة للصوت يتكلف الكثير، وبالطبع أن إنشاء أنفاق تحت الأرض مكلف جداً. وغالباً ما تفشل الجهود الرامية إلى تخفيف اختناقات المدن، بسبب ارتفاع تكلفة إنشاء الأنفاق التى قد تصل إلى مئات ملايين الدولارات للميل الواحد.

وإذا سمحت قوانين البناء وسياساته، فإن التكنولوجيا النانوية سوف تحدث ثورة فى مجال إنشاء المبانى. المواد المتميزة سوف تجعل من السهل تشييد مبانى عالية أو عميقة لإخلاء المساحات الأرضية. والمبانى القوية التى يمكنها تحمل أقوى الزلازل بدون أن يصيبها ضرر وسوف تستخدم المبانى الطاقة، وتستغل الطاقة الشمسية الساقطة عليها، بكفاءة عالية بحيث يتحول معظمها إلى مبان منتجة للطاقة. وأكثر من ذلك، سوف تجعل المواد الذكية من السهل بناء الإنشاءات وتعديلها المركبة مثل الممتلئة بالنوافذ والأسلاك وأعمال السباكة وشبكات البيانات وهلم جرا. وما سبق ليس سوى مثال واضح على الفكرة التى نطرحها. والآن، لنلق نظرة على الأشكال المحتملة للأنابيب الذكية.

دعنا نقل أنك تريد تركيب حوض يمكن أن ينطوى على نفسه بأحد أركان غرفة نومك. المواد الجديدة تجعل من الممكن عمليا إنشاء ذلك الحوض. وفى منزل مصنوع من مواد ذكية متطورة، فإن لصق حوض على الحائط سيكون كافيا، لأن أعمال توصيلات السباكة ستتم ذاتيا. بيد أن ذلك يعتبر منزلا مقاما فى فترة ما قبل الإنجاز التقنى الحديث، ومن ثم، فإن الحوض يكون مجرد تعديل لنظام قديم. ولإتمام هذا العمل بمنزلك يدوياً، يلزمك شراء عدة صناديق ممتلئة بأنابيب رخيصة ووصلات ثائية (ذات ثلاثة أفرع) وصمامات ووسائل تركيب وتثبيت من مختلف المقاسات، وكلها خفيفة للغاية مثل القشور الخشبية وملمسها طرى كالمطاط.

أكبر مشكلة عملية ستكون عمل فتحة من أنبوب الماء الموجود وأنبوب التصريف إلى المكان الذى تريد فيه تركيب الحوض. التصنيع الجزيئى سيوفر أدوات كهربائية

ممتازة لثقب تلك الفتحات، ويعقب ذلك استخدام طلاء ذكى وملاط ذكى لتقفيلها، غير أن التفاصيل النهائية سوف تعتمد على طريقة بناء منزلك.

منظومات السباكة الذكية ستساعدك بالتأكيد. فإذا أردت أن تمرِّر خط تصريف المياه خلال العليَّة[1]، فسوف تتأكد المضخات المبيتة فى الجدار من التصريف الصحيح للمياه. وتسمح مرونة أنابيب المياه بسهولة تمريرها حول المنحنيات والأركان. وتتيح الكهرباء رخيصة التكلفة بتزويد الحوض بسخان مياه تمر المياه خلاله، ولذلك فكل ما تحتاج إليه هو تركيب أنبوب ماء لكى يتوفر لك كل من الماء البارد والساخن. وكل الأجزاء تتوافق مع بعضها البعض بسهولة مثل لعب مكعبات الأطفال، وهى قد تبدو لك رقيقة ومعرضةً لتسريب المياه. غير أنك عندما تشغلها، فإنَّ المكونات المجهرية للأنابيب تلتحم ببعضها البعض وتصبح فى مثل قوة الفولاذ. وللعلم، فإنَّ توصيلات السباكة باستخدام أنابيب ذكية لا تسرِّب المياه أبدا.

فإذا كان منزلك مصنوعًا من مواد ذكية، مثل معظم المنازل المقامة بدول العالم الثالث الآن، فإنَّ الحياة تصبح أسهل. وباستخدام مالج (مسطرين) خاص، يمكن إعادة تسوية إنشاءات الجدران كالطين الطرى، بحيث تؤدى وظيفتها الإنشائية طوال الوقت. وإنشاء منظومة سباكة من لا شىء بهذه الطريقة أمر سهل، ومن الصعب الخطأ فيها. وأنابيب مياه الشرب لا توصَّل بأنابيب مياه الصرف، ومن ثم، لا يمكن تلوث مياه الشرب عرضيًا فى أى وقت. وأنابيب التصريف لن تنسدَّ أبدا، لأنها تنظِّف نفسها بنفسها أفضل مما يمكن أن تفعله أى شفرة فولاذية دوَّارة. وإذا مررت أنابيب كثيرة من أى شىء إلى أى مكان آخر، فسوف تضمن المضخات المبيَّتة فى الجدران تدفقات المياه فى الاتجاه الصحيح وبضغط كافٍ.

السباكة الذكية هى مثال واحد على المنظومة العامة المتاحة. والتصنيع الجزيئى يمكنه فى نهاية الأمر صنع منتجات مركبة بتكلفة قليلة، وهذه المنتجات المركبة يمكن أن يكون استخدامها أبسط من استخدام أى شىء متوفر لدينا الآن، مما يوفر اهتمامنا

---

(١) موضع واقع تحت سطح المنزل مباشرة. (المترجم)

بأمور أخرى. المبانى سوف يصبح من السهل إنشاؤها وتغييرها. والمنتجات الأساسية النافعة بعالمنا المعاصر، بل أكثر منها، يمكن صنعها فى كل مكان حتى أقاصى المعمورة، حيث يقوم الناس الذين يعيشون هناك بتركيبها حسبما يناسب أذواقهم ورغباتهم.

الغذاء

أصبح إنتاج الغذاء على المستوى العالمى يتفوق فى النمو على معدلات النمو السكاني، ومع ذلك ما زال الجوع موجوداً!. وفى السنوات الأخيرة، كان للجوع جذور سياسية مثلما حدث فى إثيوبيا حيث يسعى الحكام هناك إلى تجويع معارضيهم بهدف إخضاعهم لهم. والحقيقة أن تلك المشاكل تتجاوز الحلول التقنية البسيطة. ولتجنب الإصابة بصداع دائم، سوف نتجاهل هنا سياسات برامج دعم أسعار المزارع التى تزيد من أسعار الغذاء، بينما يستمر معاناة الناس من الجوع. وكل ما نقترحه هنا هو طريقة لتوفير غذاء طازج بتكلفة قليلة جنباً إلى جنب مع تقليل الآثار البيئية المحتملة.

تنبأ خبراء المستقبل طوال عشرات السنين الماضية بقرب ظهور الأغذية الصناعية. وبلا شك، فإنَّ بعض أنواع التصنيع الجزيئى يمكنها صنع تلك الأشياء بالتكلفة المنخفضة المعتادة، بيد أن ذلك لا يبدو رائعًا جداً، ومن ثم سوف نتجاهل هذه الفكرة.

معظم الأنشطة الزراعية الحالية غير فعالة، بل إنها كارثة بيئية. فالزراعة الحديثة اشتهرت بتبديد المياه وتلويثها بالمخصبات الصناعية، ونشر مبيدات الأعشاب والمبيدات الحشرية فوق مساحات شاسعة. ومن هذا، فإن أكبر تأثير للزراعة على البيئة هو الاستهلاك الشديد للأراضى. ففى الشرق الأمريكى، اختفت الغابات القديمة بتحويلها إلى مزارع تنتج محاصيل، وذلك جزئيًا لإنتاج الغذاء وجزئيًا لقطع أشجار الغابات.

كما اختفت مروج الغرب وبراريها بعد حرثها بالمحاريث. وقد استمر هذا النمط فى جميع أرجاء العالم. إنَّ تكنولوجيا قطع الأشجار والحرائق والتحويل إلى أراضٍ زراعية كلها أسباب مسؤولة عن تدمير الغابات المطيرة فى أيامنا هذه. والواقع أن النمو السكانى المتواصل سوف يميل إلى تحويل كل منظومة بيئية منتجة إلى نوع ما من الأراضى الزراعية أو أراضى المراعى العشبية لو سمحنا بحدوث ذلك.

لا يمكن لأى تكنولوجيا أن تحل مشاكل النمو السكانى طويلة الأجل. ولكن يمكننا أن نقلل من تأثير فقد الأراضى، وفى الوقت نفسه نزيد الإمدادات الغذائية. إن الأسلوب المتبع فى هذا الصدد هو الزراعة المكثفة فى المستنبتات الخضراء (الدفيئات).

كل نوع من النباتات يقترن بظروف معيَّنة تعتبر أفضل ظروف لنموه، وتلك الظروف تتباين كثيراً عن تلك التى نجدها فى أكثر المزارع فى معظم أوقات السنة. فالنباتات التى تنمو فى العراء تواجه الحشرات الضارة، ما لم تستخدم مبيدات للقضاء عليها، ونقص مستويات الغذاء المتاح لها، ما لم توضع لها مخصبات. وفى الدفيئات التى يتوفر بها مضارب نانوية للذباب قادرة على القضاء على الحشرات الغازية، تتم حماية النباتات من الحشرات وتزويدها بالمواد الغذائية بدون تلويث المياه الجوفية أو مياه الأمطار السطحية. ومعظم النباتات تفضل الرطوبة العالية أكثر من تلك التى توفرها الظروف الجوية المتباينة. كما تفضل أكثر النباتات درجات حرارة أعلى وأكثر انتظامًا من تلك السائدة عادة فى العراء. وأكثر من ذلك، تزدهر النباتات عند توافر مستويات عالية من غاز ثانى أكسيد الكربون فى بيئتها. والمستنبتات الخضراء فقط هى التى توفر حماية من الحشرات والآفات، وكذلك كل العناصر الغذائية الكافية والرطوبة والدفء وغاز ثانى أكسيد الكربون، وبدون إعادة هندسة الأرض.

وبأخذ كل تلك العوامل فى الاعتبار، نجد أنها تشكل فرقًا هائلا فى مجال الإنتاجية الزراعية. إذ تبيَّن تجارب أجريت على الزراعة المكثفة بالمستنبتات الخضراء بمعرفة مختبر الأبحاث البيئية بأريزونا، أن مساحة ٢٥٠ مترًا مربعًا – وهى تساوى

تقريباً مساحة ملعب للتنس - يمكنها إنتاج محاصيل غذائية تكفي لفرد واحد في العام الواحد بشكل ثابت لا يتغيَّر. ولكن في ظل التصنيع الجزيئي الذي ينتج معدات رخيصة وفي الوقت نفسه، يمكن الاعتماد عليها، كذلك يكون بمقدورها تحويل العمالة المكثفة اللازمة للزراعة المكثفة إلى تشغيل آلي. وعند توفر التكنولوجيا التي تشبه "الخيام" التي يمكن فردها والمواد الذكية التي وصفناها من قبل، يمكن أن يصبح إنشاء الدفيئات عملية رخيصة التكلفة. وباتباع هذا القول القياسي، مع توقع انخفاض تكلفة المعدات والعمالة والمواد وهلم جرا، فإنَّ الأغذية التي ستنمو بالدفيئات سوف تكون رخيصة الثمن.

ولكن ماذا يعني ذلك للبيئة؟.. إنه يعني أنَّ الجنس البشري يمكنه إطعام نفسه بأغذية عادية وتنمو طبيعيًا بدون استخدام مبيدات حشرية، وفي نفس الوقت، استعادة أكثر من ٩٠٪ من الأراضي الزراعية الحالية إلى غابات وأشجار برية. وبالمعدَّل السخي البالغ ٥٠٠ متر مربع لكل فرد، فإنَّ تعداد سكان الولايات المتحدة الحالي سوف يحتاج إلى ٣ ٪ فقط من المساحة المزروعة حاليًا بها، مما يحرِّر ٩٧٪ من الأراضي لاستخدامات أخرى أو للعود تدريجيًا إلى الغابات والنباتات البرية.

وعندما يصبح بمقدور المزارعين إنماء مواد غذائية عالية الجودة بتكلفة قليلة، وفي مساحة زراعية تبلغ جزءًا صغيرًا فقط من المساحة الحالية، سوف يجدون طلبًا متزايدا على أراضيهم للاهتمام بها وتحويلها إلى حدائق أو غابات شجرية بدلا من إنتاج الذرة. والمتوقع أن تنشر المجلات الزراعية مقالات تبشر وتوصي بتقنيات للاستعادة السريعة والجمالية للغابات والأراضي العشبية، وكيف يمكن بأفضل طريقة تلبية رغبات التفرقة ما بين محبي الطبيعة وخبراء الحفاظ عليها. وحتى الأراضي المهجورة سوف يتم العناية بها ورعايتها لكي يرتادها مُحبو العُزلة والوحدة.

اقتصاديات عمليات التصنيع المعتمدة على المُجمَّعات سوف تتخلص من الحافز أو الدافع لجعل الدفيئات رخيصة وكئيبة وصندوقية الشكل، إذ إنَّ السبب الوحيد للتشييد

بتلك الطريقة هو ارتفاع تكلفة إنشاء أى شىء على الإطلاق. وبينما تعانى الدفيئات الحالية من حالات العدوى الفيروسية والفطرية، فإنَّ ذلك يمكن القضاء عليه فى النباتات بنفس طريقة القضاء عليها فى الجسم البشرى، كما سوف نبيِّن فيما بعد. وإحدى المشاكل التى تواجه الدفيئات الحالية هى السخونة الشديدة، بيد أنه يمكن التعامل معها باستخدام مبادلات حرارية وبذلك يتم الحفاظ على الجو الداخلىّ لها بعناية. وأخيراً، إذا اتضح أنَّ القليل من الطقس السيئ يُحسِّن مذاق الطماطم، فإنه لن يكون هناك مبرر للتعصب والقلق بشأن الكفاءة المطلقة.

الاتصالات

فى أيامنا هذه، تتسم الاتصالات السلكية واللاسلكية بسعة محدودة إلى حد كبير، كما أنَّ تمديدها يتكلف الكثير. التصنيع الجزيئى سوف يُخفِّض سعر "الصناديق" فى منظومات الاتصالات السلكية واللاسلكية، وهى أشياء مثل منظومات التحويل والحواسيب والهواتف وحتى الهواتف المرئية المزعومة. الكابلات المصنوعة من مواد ذكية يمكنها أن تسهِّل تركيب مثل تلك الأجهزة وتوصيلها ببعضها البعض.

وإذا أرادت الوكالات المنظِّمة، فلعلك تستطيع فى يوم ما أن تشترى بكرات ملفوفة رخيصة من مادة تشبه خيط الطائرة الورقية، وبكرات ملفوفة أخرى من مادة تشبه الشريط، ثم تستخدمها للدخول على شبكة بيانات عالمية. كل نوع من تلك الخيوط يمر داخل ليفة ضوئية عالية الجودة، ويكون قابلاً للإلتفاف حول الأركان والمنحنيات، وعند حك تلك الخيوط ببعضها البعض، تلتصق قطع من تلك الخيوط ببعضها بعضًا، أو تلتحم بقطعة من الشريط. وتفعل قطع من الشريط مثل ذلك. ولكى تتصل بالشبكة، عليك أن تمرر الخيط أو الشريط من هاتفك، أو أى جهاز بيانات طرفى آخر، إلى أقرب نقطة تكون متصلة بالفعل بتلك الشبكة. وإذا كنت تعيش فى أعماق إحدى الغابات المطيرة، مرر خيطا إلى الوصلة الخاصة بقريتك التى تعيش بها.

تشمل تلك المواد الخاصة بكابلات البيانات كلا من المضخمات[٢] والحواسيب النانوية وعقد التحويل[٣] وغير ذلك. وهي تأتي محملة ببرمجيات "تعرف" كيف تنقل البيانات بكفاءة يعتمد عليها. وإذ شعرت بقلق من أن ينكسر خط ما، مرر ثلاثة خطوط في اتجاهات مختلفة، والخط الواحد يمكنه نقل بيانات أكثر من كل القنوات، مجتمعة مع بعضها البعض، في كابل التلفاز.

النقل

انتقالك أو تحركك في المنطقة التي حولك بسرعة يتطلب سيارة أو مركبة والرؤية القديمة التي انتشرت إبان فترة خمسينيات القرن العشرين بشأن استخدام حوامات خاصة قد تكون ممكنة من الوجهة الفنية عن طريق التصنيع الرخيص عالي الجودة، وإدخال القليل من التحسينات في طرق التحكم في الطيران الآلي والمرور الجوي .. ولكن هل سيتقبل أو يتحمل الناس كل هذا الضجيج الذي يدوي في أرجاء السماء؟ من حسن الحظ أن هناك بديلاً ليس فقط لهذا، ولكن أيضا لإنشاء المزيد من الطرق.

الاتجاه إلى الأنفاق

بالقرب من سطح الأرض، يوجد حيز كبير مثلما يوجد على سطح الأرض، ولكن عادة ما يتم تجاهل هذه الحقيقة، لأن هذا الحيز ممتلئ بالتراب والصخور والمياه المضغوطة، وما شابه ذلك. والحفر في الأرض مكلف للغاية، والحفر الغائر لأنفاق عميقة وطويلة أكثر تكلفة. غير أن هذه التكلفة تنصب أساسا على تكلفة المعدات والمواد

٢- المكبرات للصوت. (المترجم)

٣ – عقد في شبكة اتصالات يلتقي عندها خطان أو أكثر من خطوط الاتصالات فتنتظم عمليات نقل الرسائل وتحويلها. (المترجم)

والطاقة، وأجهزة حفر الأنفاق شائعة الاستخدام فى أوقاتنا هذه، والتصنيع الجزيئى يمكنه أن يجعلها أكثر كفاءة. وأقل تكلفة. والطاقة التى تشغلها لن تشكِّل مُشكلة كبيرة، ويمكن تبطين الأنفاق بمواد ذكية بسرعة بمجرَّد حفر الأنفاق، وذلك بعمالة قليلة أو حتى بدون عمالة بالمرة. إنَّ التكنولوجيا النانوية سوف تفتح لنا آفاقًا جديدة.

ومع توخى القليل من العناية والاهتمام، يمكن أن يكون تأثير حفر أنفاق عميقة على البيئة ضئيلاً. فبدلا من الصخور الصلبة الموجودة تحت سطح الأرض، توجد صخور تمر خلالها أنفاق محكمة ومعزولة بالفعل، وبحيث لا يلزم إقلاق أى شىء فى الجوار.

تتجنَّب الأنفاق كل التأثير الجمالى لسماء مكدسة بطائرات مزعجة، والتأثير البيئى لتمهيد شرائح من الأرض المنبسطة. وسوف يجعلها ذلك أرخص سعراً من الطرق، كما يمكنها - إذا شئنا - أن تكون أكثر استخداماً من الطرق فى العالم المتقدم الآن. بل إنها سوف تسمح بوسائل نقل أكثر سرعة.

ركوب قطارات الأنفاق

تنشط الآن اليابان وألمانيا فى تطوير القطارات المغنطيسية، مثل تلك التى ورد ذكرها فى سيناريو وردة الصحراء. وتتجنب تلك القطارات قيود العجلات الفولاذية التى تسير على قضبان فولاذية، بواسطة استخدام قوى مغنطيسية تجعل القطار "يطير" على مسار خاص به. ويمكن للقطارات المغنطيسية أن تكتسب سرعة الطائرة وهى تنطلق على الأرض. وعلى المدى الطويل، عندما يتم حفر أنفاق مُفرَّغة يمكنها الوصول إلى سرعات المركبات الفضائية، بحيث تقطع مسافات أرضية شاسعة حول الأرض فى ساعة واحدة أو نحو ذلك (وربما أقل إذا رغب ركابه فى تحمل التسارع الفائق له).

ووسائل الانتقال كهذه يمكن أن تعطى مفهوم "ركوب قطارات الأنفاق" معنى جديدًا تمامًا فوسائل النقل المحلية سوف تنطلق بسرعات عالية، بيد أنَّ الانتقال لمسافات طويلة جدًا سوف يتم بسرعات تتعدى سرعة الطائرة الكونكورد. ومع استخدام منظومات كهربائية فائقة التوصيل الكهربائى، فإنَّ الأنفاق فائقة السرعة سوف تكون أكثر كفاءة فى استخدام الطاقة من وسائل النقل الجماعية البطيئة الحالية.

الحصول على سيارة

دأب الناس طوال عشرات السنين على اقتراح استبدال بالسيارات نوع ما من وسائل النقل الجماعى، ويبدو أنَّ ثورة التكلفة (والتى تشمل حفر أنفاق رخيصة) سوف تجعل ذلك عمليًا فى نهاية الأمر. ولكن قبل أن تستغنى عن سيارتك، يجدر بك أن ترى كيف يمكن تطويرها.

التصنيع الجزيئى يمكنه صنع أى شىء تقريبًا بشكل أفضل من ذى قبل. السيارات يمكن أن تصبح أقوى وأكثر أمانًا وأخف وزنًا وأفضل أداءً وأعلى كفاءة، بينما تقطع مسافات أكبر وتحرق وقودًا أنظف وأرخص، وربما تستخدم خلايا وقود تُشغِّل محركات كهربائية تعمل فى هدوء. ومع استخدام قوى ديناميكية هوائية لاستقرار السيارة على الطريق، لن يكون هناك مبرر قوى يمنع أى سيارة ركوب من الانطلاق بتسارعات هائلة غير مريحة ولمسافات قصيرة.

ولكى تتصور سيارة رخيصة منتجة بالتصنيع الجزيئى، تخيل أولا تزويدها بكل الصفات والسمات الجذابة التى سمعت عنها فى يوم ما. ويشمل ذلك كل شىء من المقاعد والمرايات ذاتية الانضباط ، ومنظومات الصوت الرائعة، وأجهزة القيادة والتعليق فائقة التناغم، وشاشات عرض الرحلة الآلية، وفرامل الطوارئ، وأكياس هواء الأمان

عالية الموثوقية. والآن بدلا من مجرَّد وجود مقاعد ومرايات.. إلخ، يضبطها سائق السيارة كما يشاء مثلما يحدث فى سياراتنا الآن، فإنَّ سياراتنا ذات المواد الذكية سوف يمكنها أيضًا تضبيط حجمها وشكلها ولونها، بل مطالبة السائق بإبداء خياراته مثل: "ما شكل السيارة الذى تريده فى هذه المناسبة؟".

أما أولئك الباحثون عن المحافظة الصارمة والثروة وعدم الرغبة فى التجديد، فسوف يقودون تلك السيارات الرخيصة ويعرضون حياتهم للضياع بقيادة سيارة قديمة مصنوعة من فولاذ تقليدى وطلاء ومطاط تقليديين. وإذا سمحت اللوائح البيئية بذلك، فربما يكون لتلك السيارة محرك أصلى ما زال يعمل بحرق البنزين. والسيارة الأخيرة سوف يتم بكل تأكيد التخلص منها تمامًا واستبدال بها سيارات تعمل بمنظومات التكنولوجيا النانوية الرائعة التى يتم التحكم فى ابتعاثاتها.

فتح آفاق الفضاء

تنتهى منظومة النقل المتوفرة لدينا الآن فى طبقات الجو العليا. فالسفر لما وراء ذلك يعتبر "مهمة تاريخية". والحقيقة أنه ليس ثمة سبب لاستمرار ذلك الوضع طويلا، بمجرد بدء استخدام التكنولوجيا النانوية.

إنَّ تكلفة السفر فى الفضاء عالية، لأن سفينة الفضاء هائلة الحجم ومكونة من أشياء قابلة للكسر وتصنع بأعداد قليلة وتكاد تُصنَّع باليد. والتصنيع الجزيئى سوف يستبدل بالوحوش الجميلة الحالية مركبات متينة للنقل الجماعى (التى لو زادت كفاءتها لما كانت ضخمة هكذا). وسوف تتكلف تلك المركبات أقل، ولكن ماذا بشأن الطاقة التى تستهلكها؟.. الآن تتكلف تذكرة الرحلة التى يقوم فيها المرء بالدوران حول الأرض بمركبة فضاء ذات كفاءة عالية أقل من ١٠٠ دولار. غير أنَّ انخفاض سعر المركبات والطاقة سوف يخفضان التكلفة الكلية إلى جزء فقط من ذلك المبلغ.

سوف نعرف أنَّ السفر فى الفضاء أصبح أرخص من ذى قبل، عندما يرى الناس الأرض جزءا صغيرا فقط من العالم ويفهمون جيداً أنَّ موارد الفضاء تجعل من غير الضرورى استمرار الاستغلال المستمر لموارد الأرض. وعلى المدى الطويل، يمكن أن يُغيِّر التصنيع الكفء النظيف رخيص التكلفة من الطريقة التى يؤثر بها الناس على الأرض، من جراء وجودهم عليها. حتى الناس الذين يقبعون بمنازلهم سوف يتمكنون بشكل أفضل من علاج الضرر الذى تسببوا فيه.

الفصل التاسع

استعادة السلامة البيئية

شهدت حقبة السبعينيات من القرن العشرين ثورة فى المواقف والاتجاهات الغربية تجاه البيئة الطبيعية التى نعيش فيها، وانتشر القلق إزاء قضايا التلوث وقطع أشجار الغابات وانقراض السلالات الحية. وصاحب تزايد هذا القلق والخوف نزعة متناقضة ما بين التكنولوجيا التى تنتج عنها "ثروة إنتاجية"، وزعم البعض أن البشر يدمرون عادة البيئة التى حولهم بشكل متناسب مع القدرات أو الطاقات المتاحة لهم. ويوحى ذلك على الفور أنَّ كلا من التكنولوجيا ومستويات المعيشة المرتفعة سيئ، إذ إنهما بطبيعتهما مدمران. وقد أصبح التعبير "ثروة إنتاجية" يعنى فى الوقت الحاضر تدمير البيئة.

غير أن الثورة فى الاتجاهات والمواقف المتبناة تجاه البيئة غيَّرت بالفعل من فكرة الثروة الإنتاجية. ولعل إحصائياتنا القومية لا تعكس ذلك – وربما لا يوافق عليها كل مواطن أو سياسى– إلا أنَّ مفهوم أنَّ الثروة الأصلية أو الحقيقية تشمل ليس فقط المنازل والثلاجات الكهربائية والمصانع والآلات المختلفة والسيارات والطرق، ولكن أيضًا تتضمن الحقول والغابات والبوم والذئاب والهواء النظيف والماء النقى والبرارى القاحلة، التى قد تأصلت فى أذهان الناس وسياساتهم. وأصبح الآن تعبير "الثروة الطبيعية" يشمل الطبيعة كقيمة فى حد ذاتها، وليس فقط من حيث إنها مصدر للأخشاب والخامات والمزارع.

ونتيجة لذلك، بدأت الثروات الأكثر ضخامة تعنى الآن الثروات الأنظف والأكثر نضارة. والدول الأكثر ثراء يمكنها إنتاج معدات أغلى ثمنًا وأكثر كفاءة – مثل وحدة تنقية غازات المداخن ووحدة تحويل الغازات الضارة المبتعثة من محرك السيارة – ومن ثم يمكن إنتاج منتجات أقل ضرراً بالبيئة. وهذا الاتجاه أفضل ما فيه أنه مناسب للمستقبل.

وقد لاحظ "لستر ملبراث"، مدير برنامج أبحاث البيئة والمجتمع بجامعة ولاية نيويورك فى (بافالو) أنَّ: "التكنولوجيا النانوية تتميَّز بإمكانية إنتاج منتجات استهلاكية تستهلك مواد أقل وتنتج نفايات أقل، وهكذا تقلل من تراكم ثانى أكسيد الكربون وتقلل من الاحتباس الحرارى للكوكب. كما أنها تتميز بإمكانية تقليل النفايات خصوصًا الضارة منها وتحولها إلى مواد طبيعية لا تشكل خطراً على الحياة". كما يقول "جيمس لفلوك": "سوف يكون المستقبل أفضل لو احتفظنا بفهمنا للهدف الذى نرغب فى تحقيقه واحتضنا الصناعات الجديدة المعتدة على المعلومات والتكنولوجيا النانوية. وتضيف تلك قيمة هائلة إلى فئات المادة متناهية الصغر بحجم الجزيئات، وهذه لا يشكل بالضرورة خطراً على البيئة مثلما فعلت الصناعات الضخمة التى لوثت البيئة فيما مضى".

كيف يصبح من السهل تحقيق النظافة؟

هل يحق لنا أن نتفاخر "بالتكنولوجيا العالية"، بينما ما زالت الصناعة عاجزة عن الإنتاج دون إحداث تلوث للبيئة؟.. إنَّ التلوث علامة على وجود تكنولوجيا متدنية لا يمكنها التحكم بشكل جيد فى كيفية التعامل مع المادة. والواقع أنَّ البضائع السيئة الجودة والنفايات الخطرة هما وجهان لمشكلة واحدة.

وفى ظل عمليات تعتمد على التصنيع الجزيئى، سوف تنتج الصناعات سلعًا أفضل وأرقى، وبفضل نفس التطور الحادث فى وسائل التحكم لن تكون هناك حاجة لحرق أنواع الوقود والزيوت والغسيل بواسطة مذيبات وأحماض وشطف الكيماويات الضارة فى بلوعات الصرف. ذلك أنَّ عمليات التصنيع الجزيئى سوف تعيد ترتيب الذرات بطرق متحكم فيها، ويمكنها أن تجمع بشكل أنيق ودقيق أى ذرات غير مرغوب فيها من أجل إعادة تدويرها أو إعادتها إلى المصدر الذى أتت منه. وقد ألهمت تلك النظافة الحقيقية خبير البيئة "تيرانس مكاكينا" كتابة مقالا بمجلة "إعادة النظر فى الأرض كلها" لمطالبة علماء التكنولوجيا النانوية بـ "تحقيق أفضل شيء للرؤى النضرة صديقة البيئة".

هذه الرؤية النضرة لن تتحقق تلقائيا، ولكن فقط ببذل الجهد. وأى تكنولوجيا قوية يمكن استخدامها فى الخير أو الشر، والتكنولوجيا النانوية ليست استثناءً من ذلك. واليوم نرى تقدمًا مبعثرًا فى أنشطة تنظيف عافية البيئة وتجديدها، بعضها يبطئ من التدمير البيئى بسبب الضغط السياسى المنظَّم المدعوم بقلق أو خوف عام متنام. وعلى الرغم من كل تلك القوة، فإنَّ هذا الضغط منتشر على نحو ضعيف ويائس ويكافح مقاومة هائلة متجذرة فى القوى الاقتصادية الموجودة.

ولكن إذا اختفت تلك القوى الاقتصادية، فإنَّ المقاومة سوف تتقوَّض. عادة نجد أن مفتاح النجاح فى المعركة هو أن تتيح لعدوك بديلا جذابًا للقتال. لأنَّ أقوى صيحة للمقاومة ضد الأنشطة الخضراء النضرة صديقة البيئة هو أنَّ قطع الأشجار وتلويث الأرض هو السبيل الوحيد للثروة الإنتاجية، والمهرب الوحيد من الفقر. أما الآن، فبمقدورنا أن نرى بديلا نظيفًا وكفؤًا وغير ضار: هو الثروة الإنتاجية الخضراء المتناغمة مع الثروات الطبيعية.

إنهاء التلوث الكيميائى والكَّف عن استهلاك الموارد

رأينا بالفعل كيف يمكن للتصنيع الجزيئى أن يوفر طاقة شمسية نظيفة بدون الاحتياج إلى رصف المنظومات البيئية الصحراوية، وكيف يمكن تحويل طاقة نظيفة ومواد شائعة إلى سلع وفيرة عالية الجودة ونظيفة. ومع توفر العناية، يمكن القضاء خطوة خطوة على مصادر التلوث الكيميائى - بما فى ذلك مصادر ثانى أكسيد الكربون الزائدة -. ويشمل ذلك الملوثات المسؤولة عن الأمطار الحمضية وأيضًا الغازات المدمرة للأوزون وغازات الاحتباس الحرارى وانسكابات النفط والنفايات السامة.

فى كل حالة، نجد أن القصة هى نفسها تقريبًا. الأمطار الحمضية تنتج أساسًا من حرق أنواع وقود قذرة تحتوى على كبريت، ومن حرق أنواع وقود أنظف ولكن بطريقة قذرة منتجة أكاسيد نيتروجينية. وقد رأينا كيف يمكن للتصنيع الجزيئى أن يصنع خلايا شمسية رخيصة جدًا ومتينة بما يكفى لاستخدامها كأسطح للطرق. وفى وجود ثروة إنتاجية خضراء، يمكننا صنع أنواع وقود أنظف من الطاقة الشمسية والهواء والماء، واستهلاك أنواع الوقود تلك فى منظومات ميكانيكية نانوية سوف يعيد بالتأكيد للهواء المواد التى أخذت منه بالإضافة إلى القليل من بخار الماء. وهكذا يتم صنع الوقود واستهلاكه، ولكن هذه الدورة لا تتسبب فى حدوث أى تلوث حقيقى. وعند توفر أنواع وقود شمسى رخيصة، يمكن استبدال الفحم والنفط وصرف النظر عنهما وتركهما داخل الأرض. وعندما يكون النفط مهجورًا فسوف تختفى انسكابات النفط.

أكثر غازات الاحتباس الحرارى إقلاقًا لنا، هو ثانى أكسيد الكربون، ومصدره الرئيسى هو حرق أنواع الوقود الأحفورى. غير أنَّ الخطوات المذكورة سابقًا سوف تنهى هذه المشكلة. إنَّ ابتعاث غازات أخرى، مثل الكلوروفلوروكربون المستخدمة فى

صنع المواد البلاستيكية الإسفنجية، يحدث عادة كناتج جانبى لعمليات تصنيع بدائية، بيد أنَّ البلاستيك الإسفنجى سيكون نشاطًا عامًا بالكاد فى عصر التصنيع الجزيئى. هذه المواد يمكن استبدالها أو السيطرة على استخدامها، وهى تشمل الغازات المسؤولة أساسًا عن نضوب طبقة الأوزون.

التهديدات الرئيسية لطبقة الأوزون الجوية هى نفس مواد الكلوروفلوروكربون المستخدمة فى التبريد بالثلاجات الكهربائية وكمذيبات. والتصنيع الجزيئى سوف يستخدم المذيبات بشكل محدود (ومعظمها من الماء)، كما يمكنه إعادة تدويرها بدون إطلاق أى منها فى الجو. ومواد التبريد فى المبردات المكونة من الكلور وفلور وكربون يمكن استبدالها حتى فى عصر التكنولوجيا الحالية ولكن بتكلفة عالية، أما فى عصر التكنولوجيا النانوية فسوف يحدث ذلك بتكلفة ضئيلة لا تُذكر.

تتكون عمومًا النفايات السامة من ذرات غير ضارة مرتبة فى جزيئات ضارة، وينطبق نفس هذا الكلام على الصرف الصحى. وباستخدام طاقة رخيصة ومعدات وأجهزة قادرة على العمل على مستوى الذرة، يمكن تحويل تلك النفايات إلى أشكال غير ضارة. والكثير منها لا يلزم إنتاجه من الأساس. والنفايات السامة الأخرى تحتوى على عناصر سامة، مثل الرصاص والزئبق والزرنيخ والكادميوم. وتلك العناصر تأتى من الأرض، وأفضل ما يمكن لها هو إعادتها إلى المكان الذى وجدت فيه وبنفس حالتها الأصلية. ولكن فى ظل التكنولوجيا النانوية، سوف يكون هناك مبرر قليل لاستخراجها من الأرض أصلا. التكنولوجيا النانوية سوف تكون قادرة على تفتيت المواد إلى أصغر جزيئاتها ثم تعيد بناءها من جديد. فهل ثمة داع للقول بأنَّ ذلك سوف يسمح بإعادة تدوير كاملة.

ومن الإنصاف، القول بأن القضاء على مصادر التلوث هذه سوف يكون تطورًا مهمًا. ويبدو أنه ليس ثمة المزيد مما يمكن قوله، بخلاف التوضيحات المعتادة: "ليس على

الفور"، "ليست كلها فى الحال" و"ليس وفقًا لجدول زمنى محدد". لا يوجد أحد يريد تفريغ النفايات هنا وهناك، وإنما يريد الجميع شيئًا آخر هو تحويل النفايات إلى منتجات ثانوية، وعند توفر طريقة أفضل لحصول الناس على ما يريدون، يمكن عندئذ التوقف عن إلقاء النفايات.

كذلك سوف يتمكن الناس من الحصول على ما يريدون، وفى الوقت نفسه، يقللون من استهلاكهم للموارد. وعندما تصبح المواد أقوى، يمكن استخدامها بمعدل أقل. وعندما تصبح الأجهزة والآلات أكثر كمالا - من حيث محركاتها الكهربائية وكراسى تحميلها وعزلها وحواسيبها - فسوف تصبح أكثر كفاءة.

سوف يُطلب من المواد صنع منتجات ومن الطاقة تشغيل تلك المنتجات، ولكن بمقادير أقل. والأهم من ذلك أن التكنولوجيا النانوية سوف تشكل تكنولوجيا إعادة التدوير النهائية. والمنتجات المختلفة سوف تُصنع متينة للغاية، مما يقلل من الحاجة إلى إعادة تدويرها، كبديل يمكن صنع المنتجات قابلة للتحلل حيويًا، بحيث تصمَّم على المستوى الجزيئى لكى تنحل عقب استخدامها مخلِّفة وراءها دبالاً[1] عضويًا وحبيبات معدنية، كبديل ويمكن صنعها من قطع مجهرية تمسك ببعضها البعض بإحكام، مما يجعل من السهل إعادة تدوير المنتجات تمامًا مثل التركيبات التى يبنيها الأطفال من مكعباتهم البلاستيكية ثم يهدونها ويبنونها مرة أخرى، وأخيرًا حتى المنتجات غير المصمَّمة لإعادة تدويرها يمكن تفتيتها إلى جزيئات أبسط ثم إعادة تدويرها. وكل أسلوب من هذه له مزاياه وتكاليفه المختلفة، وكل منها يقضى على مشاكل القمامة التى نعانى منها حاليًا.

---

١ - مادة عضوية ذات لون بنى أو أسود تتألف من بقايا نباتية متحللة. (المترجم)

تنظيف فوضى القرن العشرين

الحقيقة أنه حتى بعد أن تقادمت الصناعة الموجودة فى القرن العشرين، فسوف تستمر بقاياها السامة فى الوجود. ولقد ثبت أنَّ تنظيف النفايات المتخلِّص منها بتكنولوجيا اليوم مكلفة للغاية وغير فعالة إلى الدرجة التى جعلت الكثيرين الذين يعملون فى هذا المجال يفقدون الأمل فى الحل الحقيقى لهذه المشكلة. والآن ما الذى يتعيَّن علينا عمله من خلال التكنولوجيات الثورية الحديثة؟

تنظيف التربة والماء

يمكن للتكنولوجيا النانوية المساعدة فى تنظيف تلك الملوثات. نحن نعلم أن الكائنات الحية الدقيقة تنظف البيئة عندما يمكنها ذلك باستخدام أجهزة جزيئية لتفتيت المواد السامة بها. والأشياء التى ستصنعها التكنولوجيا النانوية سوف يكون بمقدورها أن تفعل ذلك، وأن تتعامل أيضًا مع المركبات التى لا تنحل حيويًا.

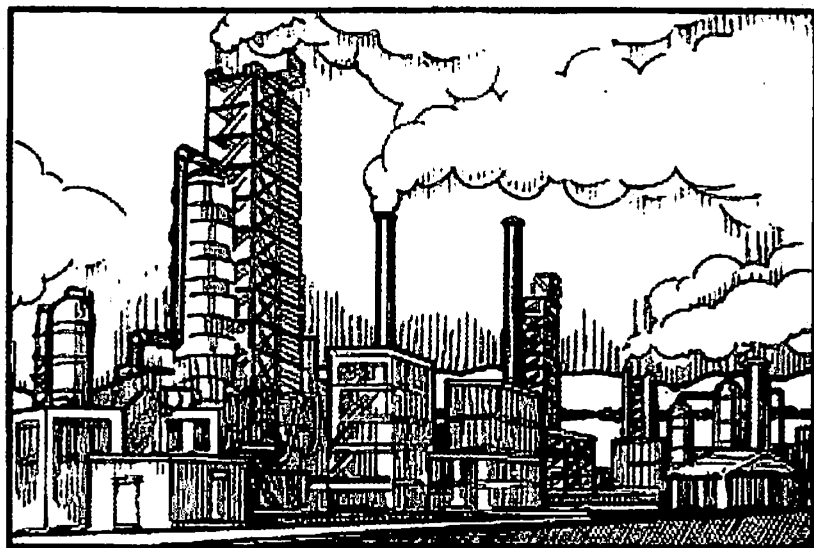
"ألان ليس" مدير الأبحاث بالشركة الهندسية لشؤون البيئة، وهى شركة تستخدم معرفتها بكيفية أداء المنظومات البيئية لوظائفها فى معالجة مشاكل البيئة مثل معالجة مياه الصرف. وهو يشرح كيف تتم عملية التنظيف بقوله: "كلما عرفنا أكثر عن المنظومات البيئية، وجدنا أنَّ وظائفها تؤدى وتنظَّم بواسطة كائنات دقيقة معيَّنة أو مجموعات كبيرة منها. و"منظمات" التكنولوجيا النانوية ربما يمكنها أن تدخل فى الميدان عندما لا تتوفر المنظمات الطبيعية، وهكذا تحفز نشاطًا بيئيًا معيَّنًا لم يكن ليحدث بأية طريقة أخرى. ويمكن استخدام "منظم" التكنولوجيا النانوية فى الإصلاح والتجديد فى الحالة التى تكون فيها المواد السامة قد دمرت بعض أعضاء منظومة بيئية معينة، مثلا بعض الميكروبات المنظمة. وبمجرد بدء تفعيل الأنشطة المطلوبة، يمكن

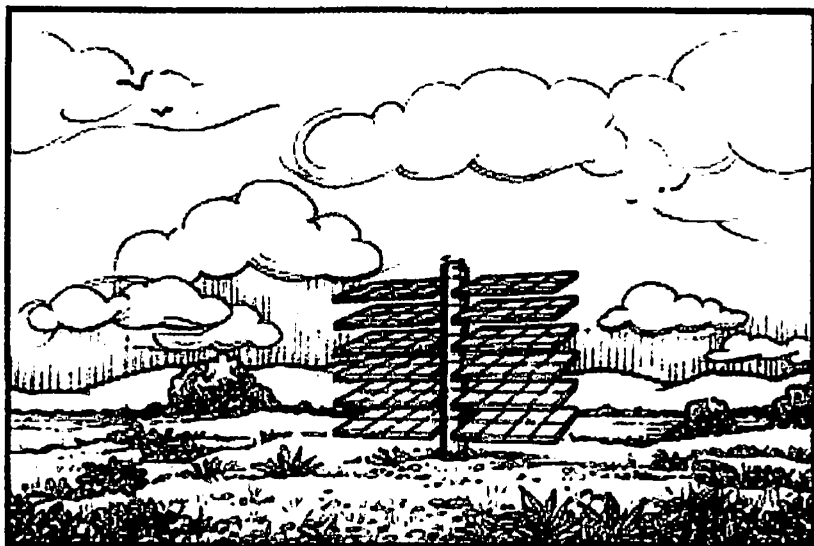
للكائنات الدقيقة التى ظلت فى هذه المنظومة البيئية (التى أجهدت) أن تثب من جديد وتواصل جهود إصلاح واستعادة المنظومة البيئية كما كانت من قبل".

ولكى نرى كيف تُستخدم التكنولوجيا النانوية فى تنظيف الملوثات، تخيَّل جهازًا مصنوعًا من مواد ذكية ويشبه إلى حد ما الشجرة، بمجرد توريده وفكه. فوق الأرض توجد بطاريات من خلايا توليد الكهرباء من طاقة الشمس، وتحت الأرض توجد منظومة من الأنابيب التى تشبه الجذور تصل إلى عمق معيَّن بالتربة. وبإمرار تلك الأنابيب الجذرية، خلال النفايات السامة الملقاة، يمكنها أن تسحب إلى أعلى المواد الكيميائية السامة، وتستخدم الطاقة المتولدة من البطاريات الشمسية فى تحويلها إلى مركبات غير ضارة. وتمتد تلك التركيبات الأنبوبية الجذرية إلى أسفل داخل منسوب المياه الجوفية، ومن ثم، يمكنها أن تقوم بنفس عملية التنظيف هذه فى خزانات المياه الجوفية الملوثة.

تنظيف الجو

معظم الملوثات الجوية سرعان ما تغسلها الأمطار (التى تحولها إلى التربة ومن ثم تسبب مشاكل تلوث الماء)، بيد أنَّ بعض ملوثات الجو تبقى لفترات طويلة. من بينها مركبات الكلور التى تهاجم طبقة الأوزون التى تحمى الأرض من الإشعاعات فوق البنفسجية الشديدة. ومنذ عام ١٩٧٥، رصد المراقبون تقويًا متزايدة فى طبقة الأوزون، خصوصًا عند القطب الجنوبى، حيث وصل الثقب هناك إلى أطراف قارات أمريكا الجنوبية وإفريقيا وأستراليا. وفقدان تلك الحماية يُعرِّض الناس لمخاطر متزايدة من الإصابة بسرطان الجلد، كما أن لها تأثيرات غير معروفة على المنظومات البيئية. وقاعدة التكنولوجيا الحديثة سوف تتمكن من إيقاف الزيادة فى المركبات المدمرة لطبقة الأوزون، غير أن تلك التأثيرات سوف تظهر ببطء عبر عدة سنوات. إذن كيف يمكننا مواجهة هذه المشكلة أو عكس تأثيرها بسرعة أكبر؟





(شكل ١٠) تنظيف البيئة

من خـلال تغـيـيـر الطريقـة التى يتم بـهـا صنع المواد والمنتـجـات، سـوف تتـمكن التكنولوجيا النانوية من تحرير أراض كانت تستخدم من قبل لإنشـاء مصـانع ومـواقع صناعية. المـواد السـامـة يمكن إزالتـهـا من التربة الملـوثة بهـا بواسـطة اسـتـخـدام الطاقة الشمسية كمصدر للكهرباء وأجهزة التنظيف، وأى بقايا متجمعة يمكن جمعها بعد ذلك.

حتى الآن، تكلمنا عن التكنولوجيا النانوية فى المختبر وفى المصانع المنتجة وفى المنتجات التى يستخدمها الناس استخداماً مباشراً. والتصنيع الجزيئى يمكنه أيضاً أن يؤدى بعض الوظائف المؤقتة المفيدة عندما نلقى به فى البيئة.

التخلص من الملوثات المدمرة لطبقة الأوزون عاليًا فى الجو أحد أمثلة ذلك. ولعل هناك أساليب أبسط من التطويرات المعقدة للتكنولوجيا النانوية، ولكن ثمة أسلوب واحد يمكنه تنظيف الجو من الكلور: اصنـع عدداً كبيراً من البالونات، كل منـهـا بحـجم حبة لقـاح، وخفـيفـة للغاية بحـيث تطير إلى أعلى طبـقة الأوزون. وضـع فى كل بالونة منـهـا بطارية صغيرة لتوليد كهرباء من طاقة الشمس، مصنع معالجة جزيئية، وحبة صوديوم مـجـهرية الحـجم. يقوم مصنع المعالجة بجمع المركبات المحتوية على الصـوديوم ويطرد غـاز الكلور. وضـم هذا مع الصـوديوم يصنـع كلوريد الصـوديوم، ملح الطعـام المعتـاد. وعند خروج الصوديوم، يتقوّض البالون ويسقط. وأخيرا، تسقط حبة ملح وذرة تنحلّ حيوياً، إلى الأرض وعادة فى البحر. وسرعان ما يصبح الجو نظيفاً.

ثمـة مـشكلة كبـيـرة (ولكن لـهـا حل من الأرض) هى تغـيـر المناخ نتـيـجـة ارتفـاع تركيزات غاز ثانى أكسيد الكربون. والاحتباس الحرارى، الذى توقعه أكثر علماء المناخ والذى لعله حـادث الآن، ينجم عن تغيرات فى تركيب جو الأرض. فـالشمس تشرق على.

الأرض وتدفئها. والأرض تشع هذه الحرارة إلى الفضاء وتبرد. ومعدل برودة الأرض يتوقف على مدى شفافية الجو للإشعاعات الحرارية. ويتسبب ميل الجو للاحتفاظ بالحرارة ومنع الإشعاع الحرارى من الهروب إلى الفضاء فيما يسمى ظاهرة "الاحتباس الحرارى"[٢]. وتؤدى غازات كثيرة دورًا فى ذلك، غير أن ثانى أكسيد الكربون هو الجزء الأكبر من المشكلة. كما يشارك كل من الوقود الأحفورى وقطع أشجار الغابات فى هذه المشكلة. وقبل وصول قاعدة التكنولوجيا الجديدة، فإنّ ما يقارب ٣٠٠ بليون طن من ثانى أكسيد الكربون تم على الأرجح دخولها فى جو الأرض.

بعض الدفيئات الصغيرة يمكنها عكس تأثير الاحتباس الحرارى. إذ إنه بالسماح بزراعة أكثر كفاءة، يمكن للتصنيع الجزيئى تحرير الأرض لإنماء الغابات الشجرية بها مما يساعد فى إصلاح الخراب الذى حل بالناس الجوعى. كما أن إنماء الكثير من الأشجار يمتص غاز ثانى أكسيد الكربون من الجو.

فإذا لم تتم عملية إعادة الغابات الشجرية بالسرعة الكافية، فيمكن استخدام الطاقة الشمسية الرخيصة لإزالة ثانى أكسيد الكربون مباشرة، وإنتاج أكسجين وفقاعات جرافيت لامعة. وطلاء الطرق فى كافة أرجاء العالم بالخلايا الشمسية سوف ينتج نحو ٤ تريليونات وات من الكهرباء، وتكفى تلك الطاقة لإزالة ثانى أكسيد الكربون بمعدّل ١٠ بلايين طن فى العام.

وسوف تؤدى عملية "الزراعة" المؤقتة لعُشر المساحة الزراعية بالولايات المتحدة بـ "محصول" الخلايا الشمسية إلى إنتاج ما يكفى من الطاقة إزالة ٣٠٠ بليون طن من ثانى أكسيد الكربون خلال ٥ سنوات، وسوف توزع الرياح تلك الفوائد فى كل أرجاء العالم. وهكذا يمكن عكس الضرر الذى حدث فى القرن العشرين لجو الأرض فى

---

(٢) Global Warming . (المترجم)

غضون فترة من أعمال الإصلاح والتجديد البيئى تقل عن نحو عشر سنوات من القرن الحادى والعشرين. أما المنظومات الحيوية التى ستضررٌ خلال تلك الفترة فهى موضوع آخر.

النفايات المدارية

تلويث الفضاء المحيط بالأرض يتم بجسيمات دوّارة صغيرة، بعضها صغير جداً كالدبوس. ومعظم تلك الرواسب عبارة عن أنقاض أو حطام طائرة من مراحل متخلًص منها من الصواريخ، ولكنها تشمل أيضًا قفازات وكاميرات أسقطها رواد الفضاء. وهذه ليست مشكلةِ أمام الحياة على الأرض، ولكنها مشكلة عندما تبدأ الحياة انتشارها التاريخى فيما وراء الأرض، وهو أول انتشار عظيم يحدث منذ اخضرار القارات ودبيب الحياة فيها منذ زمن موغل فى القدم.

تتحرك الأجسام المدارية بسرعة أكبر من سرعة الرصاص، وبالطبع تزداد طاقتها بقدر مربّع سرعتها. والشذرات الصغيرة من الحطام فى الفضاء يمكنها أن تسبب تلفًا هائلا لمركبة الفضاء، بل وأسوأ من ذلك، فتأثيرها على مركبة الفضاء يمكنه أن يحدث انفجارًا فيها يسبب المزيد من الحطام الفضائى السائب. وكل شذرة يمكن أن تكون قاتلة لرائد الفضاء أو المسافر فى الفضاء العابر لمسارها. والآن كل جزء من الفضاء القريب من الأرض أصبح متزايد الفوضى بسبب امتلائه بهذا الركام الخطير الطليق.

هذا الركام المبعثر يتعيًن جمعه. وبفضل التصنيع الجزيئى سوف يمكن بناء مركبات فضاء صغيرة قادرة على المناورة من مدار إلى آخر فى الفضاء، بحيث تلتقط جزءًا من الحطام وراء آخر. ومركبات الفضاء الصغيرة مطلوبة لهذا الهدف، لأنه من

غير المعقول إرسال مكوك فضاء لجمع حفنة من الأجزاء المعدنية التى لا يزيد حجم الواحدة منها عن طابع البريد. وبواسطة تلك الأجهزة والمعدات يمكننا تنظيف الفضاء وجعله أكثر قابلية للحياة.

النفايات النووية

تحدثنا حتى الآن عن النفايات التى تحتاج إلى تغييرات جزيئية لجعلها غير ضارة، وأيضًا تكلمنا عن العناصر السامة التى تأتى من الأرض، إلا أن التكنولوجيا النووية أنتجت نوعًا ثالثًا من النفايات. فقد حولّت القدرة الإشعاعية البطيئة المعتدلة لليورانيوم إلى نشاط إشعاعى سريع وكثيف لأنوية خلقت حديثًا، وهى نتاج للانشطار النووى وتصادم النيوترونات. وهذه المواد لا يوجد أى تغير جزيئى يمكن أن يجعلها غير ضارة، كما أنها لم تأت من الأرض. ولكن منتجات التصنيع الجزيئى يمكن أن تساعد الأساليب التقليدية للتعامل مع تلك النفايات النووية، والمساعدة فى تخزينها فى أكثر الأشكال المستقرة التى يمكن الاعتماد عليها.. غير أنَّ ثمة حل أكثر جذرية من كل ذلك.

حتى قبل عصر المفاعلات النووية والقنبلة النووية، صنع العلماء والباحثون عناصر مشعَّة صناعيًا، وذلك بتعجيل الجسيمات ثم ضربها فى أهداف غير مُشعَّة. وتلك الجسيمات انطلقت بسرعة هائلة كافية للتغلغل داخل الذرة والوصول إلى نواتها، بحيث تستقر بداخلها أو تحطمها إربًا.

الأرض كلها تكونت من الغبار الإشعاعى المتساقط من تفاعلات نووية حدثت فى قلب نجوم قديمة. بيد أن إشعاعاتها منخفضة، لأن زمنًا طويلا جدًا قد مضى، وأكثر تلك الأنوية المُشعَّة أصبحت فى منتصف عمرها الانحلالى. و"ضرب" تلك الأنوية المستقرة يغيرها غالبًا إلى حالة مُشعَّة. بيد أن "ضرب" نواة مشعة قد يؤدى إلى تحويلها إلى نواة مستقرة ويقضى على اشعاعيتها. وعن طريق ضرب وتصنيف والضرب من جديد، يمكن لآلة تحطيم الذرات أن تتلقى طاقة كهربائية ونفايات مشعة،

ثم لا تخرج شيئًا سوى عناصرَ مستقرة غير مشعة مماثلة لتلك الموجودة بالفعل فى الطبيعة. بيد أننى لا أنصحك بأن توصى بذلك لأعضاء مجلس نوابك، لأن ذلك يتكلف كثيراً جداً حالياً، لكن فى يوم ما سوف يصبح بالإمكان عملياً تدمير إشعاعية النفايات النووية المتبقية من نشاطات القرن العشرين.

لا يمكن للتكنولوجيا النانوية أن تفعل ذلك بشكل مباشر، لأن الأجهزة الجزيئية تعمل مع الجزيئات وليس أنوية الذرات. ولكن يمكن للتصنيع الجزيئى بشكل غير مباشر، عن طريق جعل أسعار الطاقة والمعدات منخفضة، أن يوفر لنا وسيلة للوصول إلى حل نظيف ودائم لمشكلة النفايات المتخلفة من العصر النووى.

ثروة هائلة من النفايات

تؤدى غالبًا أوجه النقص والقصور إلى الإضرار بالبيئة. فعند مواجهة أزمة نقص الغذاء، يقوم رعاة الماشية بالإجهاز تمامًا على النباتات والأعشاب.

وعند مواجهة النقص فى الطاقة، يمكن للدول الصناعية أن تعتمد تنفيذ بعض المشروعات المدمرة. وقد أدى ازدياد أعداد السكان واستهلاك الموارد الطبيعية فى القرن العشرين من قِبَل الصناعة إلى ظهور ضغوط متزايدة على قدرة الأرض على دعمنا بالطريقة التى اعتدنا عليها حتى الوقت الحاضر.

سوف تبدو لنا مشكلة الموارد بشكل مختلف تمامًا فى القرن الواحد والعشرين، حيث توجد قاعدة تكنولوجية جديدة. واليوم نحن نقطع الأشجار ونستخرج الفحم من المناجم لاستخدامها بمبانينا ومؤسساتنا. ونحن نضخ النفط ونستخرج الفحم لتوليد الطاقة التى تلزمنا. وحتى الإسمنت نجد أنه كامن فى لهب الوقود الأحفورى المحترق. والواقعَ أنَّ كل شىء نصنعه تقريبًا، بل كل خطوة نخطوها، تستهلك شيئًا ما نحصل عليه من الأرض. هذا الوضع يجب ألا يستمر.

إنَّ حضارتنا تستخدم المواد لعمل أشياء كثيرة، وأساسًا لصنع منتجات بحجم وشكل قوة تحمُّل معيَّنة. وهذه الاستخدامات الإنشائية تشمل كل شيء من الألياف الموجودة بالملابس إلى تمهيد الطرق ومعظم كتلة الأثاثات والجدران والسيارات ومركبات الفضاء والحواسيب.. وبالفعل معظم كتلة كل منتج تقريبًا نصنعه ونستخدمه. إنَّ أفضل المواد الإنشائية تستخدم الكربون بأشكال تشبه الماس والجرافيت. ومع العناصر الموجودة بالهواء والماء، يصنع الكربون بوليمرات الخشب والبوليستر وبوليمرات الخشب والنايلون. وبمقدور حضارة القرن الواحد والعشرين أن تستخرج الكربون من الجو بمعدَّل ٣٠٠ بليون طن قبل تقليل تركيز ثاني أكسيد الكربون وإعادته إلى مستواه الطبيعي الذى كان سائدًا قبل الثورة الصناعية. وبالنسبة إلى تعداد سكان يبلغ أكثر من ١٠ بليون شخص، فإنَّ ذلك سوف يكون كافيًا لإعطاء كل أسرة منزل ذى جدران خفيفة الوزن ولكن فى قوة الفولاذ، ويتبقى نسبة ٩٥٪ والنفايات الفضائية هى مصدر كافٍ للمواد الإنشائية، بدون الحاجة إلى قطع الأشجار أو التنقيب عن خامات الحديد.

تبيَّن لنا النباتات أنها يمكن أن تستخدم الكربون لصنع مجمعات شمسية. كما توضح الأبحاث المعملية أنَّ مركبات الكربون يمكن أن تكون موصلات للكهرباء أفضل من النحاس. ومن الممكن بناء منظومة توليد كهرباء كاملة بدون حتى لمس المصادر الثرية بالمعادن المدفونة فى مقالب النفايات.

يمكن للكربون أن يصنع النوافذ من البلاستيك أو الماس. الكربون يمكنه صنع أشياء غنية بألوان الصبغات العنصرية. الكربون يمكن استخدامه لبناء حواسيب نانوية، وسوف يكون المكوِّن الرئيسى للأجهزة النانوية عالية الأداء من جميع الأنواع. والعناصر الأخرى فى كل تلك المواد هى الهيدروجين والنيتروجين والأكسجين، وكلها متوفرة فى الهواء والماء. العناصر الأخرى مفيدة، لكنها نادرًا ما تكون ضرورية. وعادة ما تكون عناصرها الكيميائية وافرة.

وفى ظل قاعدة تكنولوجيا جديدة تسهِّل عمليات إعادة التدوير، لن تكون ثمة حاجة لاستنفاد متواصل للمصادر الأرضية، فقط لاستمرار دوران عجلة الحضارة. والشكل البيانى الذى أوردناه لتونا، يبيِّن أن إعادة تدوير شكل واحد فقط من النفايات - وهو الزيادة فى ثانى أكسيد الكربون الجوى - يمكن أن يلبى معظم الاحتياجات. وحتى ١٠ بليون شخص ثرى لن يحتاجوا إلى تجريد الأرض من مواردها الطبيعية. وبمقدورهم استخدام ما قد استخرجناه بالفعل ثم رميناه، بل هم حتى لن يحتاجوا إلى كل ذلك.

وباختصار، فإنَّ حضارة القرن الواحد والعشرين فى ظل وجود عدد سكان يبلغ أكثر من ١٠ بلايين إنسان يمكنها الحفاظ على مستوى عالٍ من المعيشة باستخدام لا شىء سوى النفايات المنطلقة من صناعة القرن العشرين، جنبًا إلى جنب مع مقادير متواضعة من الهواء والماء وضوء الشمس. غير أنَّ هذا لن يحدث بالضرورة، ولكن مجرَّد حقيقة إمكان حدوثه يُعطى معنى أفضل لما قد تعنيه القاعدة التكنولوجية الجديدة من حيث العلاقة بين الإنسانية والموارد الطبيعية والأرض.

المنتجات صديقة البيئة

يُعرِّف كتاب "المستهلك صديق البيئة"، تأليف (الكينجتون) و(هيلز) و(ماكوير)، المنتج صديق البيئة بأنه المنتج الذى يحقق لنا ما يلى:

- ليس خطرًا على صحة البشر أو الحيوانات.
- لا يضر أو يؤذى البيئة أثناء مراحل تصنيعه واستخدامه والتخلص منه.
- لا يستهلك قدرًا غير متناسب من الطاقة والموارد الأخرى، أثناء مراحل تصنيعه واستخدامه والتخلص منه.
- لا ينتج نفايات غير ضرورية، إما بسبب التغليف الزائد له أو قصر عمر تشغيله أو استخدامه.

- لا يتضمن أى استخدام لا مبرر له أو القسوة التى لا ضرورة لها، للحيوانات.
- لا يستخدم مواد مأخوذة من سلالات أو بيئات مهدَّدة بالانقراض.
- الحالة المثالية له ألا يُبادل السعر أو الجودة أو الحاجة للتغذية أو الملاءمة، بسلامة البيئة.

ومع قدرتها على صنع أى شيء تقريبًا بتكلفة رخيصة - بما فيها المنتجات المصمَّمة للسلامة والمتانة والكفاءة الفائقة - بدون أى تعدين أو قطع أشجار أو اتخاذ أى تصرف يضر بالبيئات أو ينتج نفايات سامة، فإنَّ التصنيع الجزيئى سوف يجعل من الممكن صنع منتجات صديقة للبيئة أكثر مما نراه الآن بالمرة. إنَّ التكنولوجيا النانوية يمكنها أن تستبدل بالثروة التى تسبب التلوث الضار الثروة صديقة البيئة.

استعادة عافية البيئة

ثمة مشكلة مركزية فى موضوع تجديد البيئة أو إعادتها إلى حالتها الأصلية هى عكس عملية التعدى عليها. ونحن نميل إلى رؤية الأرض، باعتبار أنَّ المساكن تلتهمها، لأن الأرض التى نعيش فيها تكون عادة هكذا. غير أن الزراعة تستهلك المزيد من الأراضى، وهناك نوع من الزراعة يسمى "الحراجة"[٣] يستهلك الكثير منها. ومن خلال السيطرة على احتياجاتنا إلى المزارع والأخشاب والورق، يمكن للتكنولوجيا النانوية أن تغيِّر من توازن القوى وراء انتهاكات البيئة. ويتعيَّن أن يجعل ذلك الأمر أفضل من الناحية العملية والسياسية والاقتصادية، بالنسبة إلى الناس لكى يتقدموا باتجاه تجديد وتطوير البيئة.

وتجديد البيئة يعنى إعادة الأرض إلى ما كانت عليه، أى إزالة ما أضيف إليها كلما أمكن واستعادة ما فقد منها إليها. وقد رأينا كيف يحدث ذلك جزئيًا، بإزالة

---

٣ - علم زراعة أشجار الغابات ورعايتها وتطويرها. (المترجم)

الملوثات وبعض الضغوط المستخدمة فى حرث الأرض وتمهيدها. ولكن ثمة مشكلة أكثر صعوبة هى استعادة التوازن البيئى، حيثما كانت التغيرات التى حدثت حيوية. والواقع أن معظم التنوع الحيوى البيئى بالأرض نجم عن العزل الحيوى للجزر والبحار والجبال والقارات. بيد أن هذا العزل تم التعدى عليه، ومن ثم تصبح مهمة عكس المشاكل التى نجمت عنها واحدة من أكبر التحديات فى قضية معالجة المحيط[٤] الحيوى وتجديده.

السلالات المستوردة

عبث وتطفل الإنسان بالحياة فى المحيط الحيوى الذى نعيش فيه قد سبَّب اضطرابات بيئية مروعة. بيد أنَّ ذلك لا يتضمن الهندسة الوراثية، وذلك بتشويه الكائنات بحيث تحقق أهداف البشر جيداً، إذ تتركها عادة الهندسة الوراثية أقل قدرة على تلبية احتياجاتها هى ذاتها وأقل قدرة على البقاء حية والتكاثر فى البرية. وقد نبحث تلك الفوضى والاضطرابات العظيمة من مصدر مختلف: من ترحال البشر فى مختلف أرجاء الأرض وأخذ سلالات حية عدائية وعالية التكيف مع بيئاتها من جزء ما من الكوكب إلى جزء آخر منه، وتركهم على جزيرة أو قارة بعيدة، لكى تغزو منظومة بيئية ما هناك، بدون تطوير أى دفاعات لها. وقد حدث هذا مراراً وتكراراً.

وأستراليا حالة كلاسيكية لدينا فى هذا الصدد. فقد انعزلت طويلاً بما يكفى لنشوء سلاسلات حيوانية خاصة بها وغير مألوفة تماماً لأى مكان آخر، مثل حيوانات الكانجارو والكوالا والبلاتيبوس[٥] ذو منقار البطة. وعندما وصل البشر إلى تلك القارة، أحضروا معهم سلالات حية جديدة. وأيا من كان من أحضر الأرانب الأولى، فإنه لم يكن ليقدر أو أن يخمن قط كيف أبدا – من دون كل الحيوانات – ستكون مدمرة للبيئة

---

٤ – الجزء من الأرض وما يحيط بها من غلاف جوى، والذى يبقى على الحياة. (المترجم)

٥ – حيوان مائى فى أستراليا ذيله عريض وأضدامه ذات أغشية. (المترجم)

هكذا. وسرعان ما انتشرت فى جميع أرجاء القارة ودمرت المحاصيل والتهمت كل النباتات، ولم يكن هناك أى ضوارٍ أو منافسين لها لمواجهتها. ثم انضم إليها غزاة من المملكة النباتية، تحديداً الصبار وغيره.

عانى الأمريكيون من هذه الغزوات أيضا، مثل العشب القصيف، لأنه مصدر خراب للمزارع والمزارعين، وهو نبات مستورد حديثا من آسيا الوسطى. ومنذ عام ١٩٥٦ انتشر النحل الذى اكتسب الطابع الإفريقى من البرازيل متجهًا شمالا، وحل محل النحل الأوروبى فى أمريكا. وأفريقيا بدورها يجرى غزوها بذبابة القيح، وهى حشرة تضع يرقاتها فى جروح وصديد الحيوان والإنسان، بما فى ذلك الجرح السُرّى لحديث الولادة، ثم تأكله حيا. وتستمر القصة دون توقف.

حاول الناس أحيانا، بنسبة لا بأس بها من النجاح، أن يقاوموا النار بالنار، باستخدام سلالات وأمراض طفيلية لمهاجمة السلالات المستوردة ومحاصرة نموها فى أضيق نطاق ممكن. وقد تمت معالجة مشكلة أستراليا مع الصبار باستخدام حشرة من الأرجنتين، وتم إنقاص أعداد الأرانب وتحقيق نتائج مختلطة، باستخدام مرض فيروسى يسمى "الأورام المخاطية المتعددة" أو "جدرى الأرانب".

حاميات المنظومات البيئية

فى أجزاء كثيرة من العالم، تم دفع سلالات محلية إلى الانقراض بواسطة الفئران والخنازير وسلالات أخرى مستوردة، بينما أصبحت سلالات أخرى مهددة بالانقراض وتقاتل من أجل البقاء. والمكافحة الحيوية، أى مواجهة النار بالنار، لها مزايا: فالكائنات الدقيقة المستخدمة صغيرة ورخيصة الثمن. وفى النهاية، سوف تشترك فى تلك المزايا أجهزة وأدوات تصنع بواسطة التصنيع الجزيئى الذى يتجنب عيوب استيراد وإطلاق

سلالات منتشرة تتكاثر ويصعب السيطرة عليها. وتحدث "الآن ريس" عن استخدام أدوات التكنولوجيا النانوية للمساعدة على تجديد عافية المنظومات البيئية على المستوى الكيميائى لها. ويمكن تطبيق فكرة مماثلة على المستوى الحيوى لها.

وسوف يكون التحدى مروعا، ويتمثل فى تطوير أدوات بحجم الحشرة أو حتى بحجم الميكروب ويمكن استخدامها كذباب ميكانيكية اختيارية ومتنقلة أو كنازعات للأعشاب. وهذه سوف تفعل ما تفعله المكافحة الحيوية، لكن لن يمكن استنساخها ونشرها. ودعنا نسمى أدوات كتلك "حاميات المنظومة البيئية". إذ بمقدورها إبعاد السلالات العدائية وإنقاذ السلالات المحلية من الانقراض.

وبالنسبة إلى الإنسان أو الكائن الدقيق العادى، سوف تبدو حاميات المنظومة البيئية واحدة من بلايين كثيرة من أنواع متباينة مثل حشرة البق والميكروبات الموجودة فى المنظومة البيئية. وهى كائنات فائقة الصغر تعيش حياتها هنا وهناك ولكنها لا تظهر أى رغبة فى اللدغ أو اللسع. وربما يمكن اكتشافها، غير أن هذا لا يحدث إلا لو أخذت عينة من التربة ونظرت إليها بالمجهر، لأنها ليست مألوفة لنا. وسوف يكون لها هدف واحد هو أنها عندما تقفز بين مجموعة من السلالات المستوردة الواردة بقائمة (غير مرغوب فيها هنا)، إما أن تقضى عليها أو تضمن على الأقل أنها لن تتكاثر بعد ذلك أبدا.

الكائنات الدقيقة الطبيعية تكون غالبا متحيرة بخصوص السلالات التى تهاجمها. وحاميات المنظومة البيئية وهذه يمكن أن تتحير أيضا بخصوص السلالات التى تقترب منها. ثم قبل مهاجمتها تقوم بتحليل الحمض النووى الريبى المنقوص الأكسجين الوراثى (دنا) لكى تتأكد منها. ولعل أبسط شىء لنا (خصوصا فى البداية ونحن ما زلنا نتعلم) أن نخصص كل نوع من الحاميات لمراقبة سلالة مستوردة واحدة.

وكل وحدة من أى نوع معين من حاميات المنظومة البيئية يجب أن تكون محددة ومصنوعة بدقة بواسطة جهاز للتصنيع الجزيئى مصمم خصيصًا لها. وتستمر كل وحدة فى العمل لفترة معينة، ثم تتفتت. وكل نوع منها يمكن اختباره فى مرباه اليابس ثم فى منظومة بيئية فى العراء، مع ملاحظة تأثيراتها فى كل مرحلة، حتى يكتسب المرء

الثقة فى استخدامها على نطاق واسع. بيد أن هذا "النطاق الواسع" سوف يكون هو أيضا محدوداً للغاية، ما لم تكن الأداة مصممة للسفر بعيداً جداً. وهذا التقادم السريع الضرورى يقيد كلا من الفترة الزمنية التى يمكن أن تعمل خلالها أى أداة نانوية وأيضا المدى الذى يمكن أن تصل إليه، فالسيطرة على تركيب المادة تشمل صنع أجهزة نانوية تعمل فى المكان الصحيح المطلوب منها العمل فيه، وليس فى أى مكان آخر.

تنتج الصناعة الزراعية فى الوقت الحاضر وتوزع آلافا كثيرة من الأطنان من الكيماويات السامة التى ترش على الأرض، فى محاولة للقضاء على واحدة أو أكثر من سلالات الحشرات. كذلك يمكن لحاميات المنظومات البيئية أن تستخدم لحماية تلك الزراعات الأحادية، حقلا وراء آخر، بضرر أقل بكثير للبيئة عما يحدث فى أيامنا هذه. كما يمكن استخدامها بالمنظومات البيئية الخاصة بزراعات الدفيئات الكثيفة.

وبخلاف الكيماويات التى ترش فى البيئة، فإن حاميات المنظومة البيئية تلك يمكن تقييد مفعولها من حيث المكان والزمان والتأثير. وهى لا تلوث المياه الجوفية ولا تسمم النحلات والخنافس الصغيرة. ولكى نستأصل الكائنات الدقيقة المستوردة ونعيد المنظومة البيئية إلى توازنها الطبيعى السابق، لا يلزم أن تكون حاميات المنظومات البيئية موجودة بكل مكان، وإنما يكفى فقط أن تكون موجودة لكى تقابل كائنًا دقيقًا مستوردا معينا واحدا طوال فترة حياتها قبل أن يتكاثر.

وفضلا عن ذلك، فبينما تتقوض حاميات المنظومات البيئية وتتوقف عن العمل، فإنها تمثل مشكلة على نطاق صغير فى التخلص من النفايات الصلبة. ومع التصميم البارع، يمكن لكل آليات حاميات المنظومات البيئية أن تصنع مادة متينة بدرجة معقولة وتنحل حيويا أو (على الأقل) من مواد لا تكون أكثر ضرراً من حبيبات الرمل والدبال العضوى فى التربة. ولذلك فإن بقاياها تشبه القشرة الصلبة لطحالب الدياتومات[٦] أو حبيبات من اللجنين[٧] المأخوذ من الخشب أو مثل جسيمات خاصة بالطين أو الرمال.

---

(٦) طحالب أحادية الخلية جدرانها من السليكا. (المترجم)

(٧) الخشبين: مادة عضوية تكون مع السيلولوز النسيج الخشبى للنبات. (المترجم)

ومن جهة أخرى لعلنا نطور أجهزة نانوية متنقلة لتعثر عليها وتجمع أو تفتت بقاياها. وتبدأ تلك الاستراتيجية بما يشبه تجهيز منظومة بيئية موازية من الأجهزة النانوية المتنقلة. وهى عملية يمكن توسيعها لتشمل عمليات التنظيف الطبيعى للطبيعة بطرق كثيرة. وكل خطوة فى هذا الاتجاه تحتاج إلى الحذر، ولكن ليس الارتياب المفرط، إذ من الضرورى عدم وجود مواد كيميائية سامة هنا ولا كائنات جديدة لتنتشر وتصبح مؤذية. والأخطاء ستكون لها ميزة عظيمة فى أنه يمكن عكسها. وإذا قررنا أننا لا نريد تأثيرات لنوع معين من حاميات المنظومات البيئية أو أجهزة التنظيف، ويمكننا بسهولة التوقف عن إنتاج هذا النوع. ونستطيع حتى استرجاع تلك الآليات التى صنعت وبعثرت فى نواح متباينة من البيئة، ما دام عددها الحقيقى معروفا، بالإضافة إلى رقعة الأرض، التى تعمل فيها كل واحدة منها.

وإذا كانت صناعة وتشغيل حاميات المنظومات البيئية، تمثل مشكلة كبيرة لكى تعمل فقط فى التخلص من الأعشاب الضارة من السلالات غير المحلية، فإن هذا يجب أن يؤخذ فى الاعتبار ذلك المثال عن تدمير البيئة، الذى يمكن أن تحدثه تلك السلالات. فى وقت ما قبل الحرب العالمية الثانية، استوردت الولايات المتحدة الأمريكية – مصادفة – سلالات من نمل النار(٨)، من جنوب أفريقيا. وفى الوقت الحاضر، غزت هذه السلالات مساحات كبيرة من الأراضى، وكان عددها حوالى خمسمائة نملة لكل قدم مربع من الأرض. ولجأت جمعية "أودوبون" القومية(٩) – المعارضة القوية للاستخدام غير المسئول للمبيدات الكيميائية – إلى رش جزائرها بالقرب من "كوربوس كريستى"(١٠)، عندما اكتشف أن هذا النمل يدمر أكثر من نصف بيض البجع البنى، الذى يعد من السلالات التى على وشك الانقراض.

---

(٨) أنواع غازية من النمل، جسمها عبارة عن رأس وصدر وبطن لونه غالبا أحمر، وله ثلاثة أزواج من الأرجل وزوج من قرون الاستشعار. له لدغة مؤلمة. (المترجم)

(٩) تهدف هذه الجمعية إلى حفظ واستعادة المنظومات البيئية الطبيعية، لصالح الإنسانية والتنوع البيولوجى للأرض. اسمها مشتق من اسم العالم الأمريكى (جون جيمس أودوبون) (١٧٨٥– ١٨٥١). (المترجم)

(١٠) مدينة ساحلية فى جنوب ولاية تكساس. (المترجم)

وفى ولاية تكساس، اتضح أن هذا النمل الجديد، يقتل سلالات النمل المحلية، مما يخفض من التنوع البيولوجى. وأوضحت وزراة الزراعة الأمريكية فى ستانفورد بورتر، بأنه بسبب نمل النار "ربما تكون تكساس فى خضم ثورة بيولوجية حقيقية" وأصبح هذا النمل يتجه غربًا، وكان قد أحدث رأس جسر فى ولاية كاليفورنا . وبدون حاميات المنظومات البيئية، أو شيئا ما يماثلها، فإن المنظومات البيئية حول العالم، سوف تستمر فى التعرض للتهديدات من غزوات غير طبيعية. إن نمل النار فتح طرق جديدة للغزو، ومن ثم، فإن علينا مسؤولية حماية السلالات المحلية، التى أصبحت مؤخراً معرضة للخطر بسبب نمل النار.

إصلاح الأرض

معظم الناس، فى الوقت الحاضر، يعيشون بعيداً عن الأرض، إذ إنهم مقيدون فى إدارة عجلات الإنتاج فى الصناعة التى نشأت فى القرن العشرين. وفى السنوات القادمة، سوف تستبدل بعجلات الإنتاج هذه، المنظومات الجزيئية، التى سوف تقوم بالإنتاج بمقدرتها الذاتية، وسوف ينخفض الضغط الذى يمارس لتدمير الأرض. ولكن سيزيد الزمن المتاح، للمساعدة فى إصلاح الأرض. وبالتأكيد سوف تتدفق المزيد من الطاقة فى هذا الاتجاه.

ويتطلب إصلاح تضاريس الأرض لمنطقة معينة، مهارة وجهداً . ويمكن لحماة المنظومات البيئية القيام بالإجراءات اللازمة للتخلص من الأعشاب الضارة والقضاء على الآفات، التى لا يمكن لبشر القيام بها، ولكن سوف تكون هناك أيضا وظائف للتشكيل والزراعة والرعاية. ولقد تمزقت الأرض بأجهزة وجهتها أيادٍ متعجلة فجأة بين عشية وضحها. ولكن من الممكن إعادة عافيتها تدريجيا بواسطة أيادٍ صبورة، سواء كانت مجردة أو ترتدى قفازات أو أجهزة موجهة قادرة على إعادة تشكيل جيل مخرب بدون حرث أو تقليب التربة.

لقد طرقت الثروة الخضراء صديقة البيئة – التى يمكن أن تحققها التكنولوجيا النانوية – فى الأفق آمالا عالية بين بعض المدافعين عن البيئة. ويقترح (ترينس ماكينا)، فى مقالة له بمجلة (نظرة متفحصة للأرض بأكملها) ما يلى "إنها تميل إلى تعزيز الإحساس بوحدة الطبيعة توازنها، ووضعنا الإنسانى الذاتى نفسه، داخل هذا التوازن الديناميكى المتطور". وربما سوف يتعلم الناس أن يقدروا الطبيعة بشكل أعمق، عندما يستطيعون رؤيتها بوضوح أكبر، وبعينين غير مكفهرتين بالحزن والذنب.

الفصل العاشر

العقاقيـــر النانوية

تعج أجسامنا بجسيمات جزيئية نشطة ومعقدة. وعندما تتلف تلك الجسيمات تتدهور صحة المرء. ويمكن للعقاقير الحديثة التأثير على عمل الأجهزة الحيوية بالجسم بطرق متعددة، ولكن من وجهة النظر الجزيئية تبقى تلك الطرق بسيطة وسهلة. وبوسع التصنيع الجزيئى إنشاء عدد كبير من الأدوات الطبية ذات قدرات أكبر من ذلك بكثير. إن الجسم البشرى عبارة عن عالم شديد التعقيد من الجزيئات.. ولكن بمساعدة التكنولوجيا الثانوية، يمكننا أن نتعلم كيف نصلح عيوبه.

الجسم عالم من الجزيئات

لكى نفهم ما يمكن للتكنولوجيا النانوية أن تفعله للطب، فإننا نحتاج إلى فهم الصورة الكاملة للجسم البشرى من وجهة نظر جزيئية. عندئذ يمكننا أن نرى الجسم كساحة للعمل الدائم أو كموقع للإنشاءات أو كساحة معركة عسكرية للأجهزة الجزيئية. وهو يعمل بشكل جيد تماما من خلال منظومات شديدة التعقيد بحيث إن علم الطب لم يفهم حتى الآن الكثير منها. بيد أن الإخفاقات أو نواحى الفشل شائعة كثيراً.

الجسم ورشة عمل لا تتوقف

تقوم الأجهزة الجزيئية بكل الأعمال اليومية التى يحتاجها الجسم. وعندما نمضغ الطعام ونبلعه، توجه عضلاتنا تلك الأنشطة ألياف العضلات تحتوى على حزم من الألياف الجزيئية التى تتلقص بانزلاقها على بعضها البعض.

فى المعدة والأمعاء، تفتت الأجهزة الجزيئية المسماة "إنزيمات هاضمة" جزيئات الطعام الكبيرة المعقدة وتكون جزيئات أصغر منها لاستخدامها كوقود لتوليد طاقة أو كوحدات بناء الأنسجة. وتقوم الأجهزة الجزيئية الموجودة ببطانة القناة الهضمية بنقل الجزيئات المفيدة إلى مجرى الدم.

وأثناء ذلك تعمل أدوات التخزين الجزيئية بالرئتين والمسماة "جزيئات الهيموجلوبين" باستخلاص الأكسجين. وتُشَغِّل الألياف الجزيئية القلب لضخ الدم المحمل بالوقود والأكسجين إلى الخلايا. وفى العضلات، يعمل الوقود والأكسجين على تقلصها بواسطة الألياف الجزيئية المنزلقة.. وفى الدماغ، تدفعان المضخات الجزيئية لشحن الخلايا العصبية بالطاقة اللازمة لعملها.. وفى الكبد، تشغلان الأجهزة الجزيئية التى تخلق وتحطم أعداد هائلة من الجزيئات. وتستمر القصة على هذا النحو فى كل نشاط يقوم به الجسم. غير أنَّ كلا من تلك الوظائف تخفق أحيانًا، سواء كان ذلك ناجمًا عن تلف أو عيب وراثى.

الجسم موقع للإنشاءات

أثناء النمو والشفاء وتجديد الخلايا، يعمل الجسم موقعا للإنشاءات. الخلايا تأخذ مواد البناء من مجرى الدم، ثم تستخدم الأجهزة الجزيئية – التى تبرمجها موروثات (جينات) الخلية – تلك المواد لبناء مكونات وجسيمات حيوية، وصنع العظام والكولاجين، وبناء خلايا جديدة كاملة وتجديد الجلد، وشفاء الجروح.

وباستثناء حشو الأسنان وزرع أجزاء صناعية أخرى بالجسم، يتم تخليق كل شيء فى الجسم البشرى بواسطة الأجهزة الجزيئية.. حيث تعمل تلك الأجهزة على صنع الجزيئات، ويشمل ذلك المزيد من الأجهزة الجزيئية نفسها. وهى تتخلص من الجسيمات العجوزة أو الموجودة فى مكان غير مكانها، وأحيانا تستخدم أجهزة مثل الإنزيمات الهاضمة لتكسير الجسيمات وتفتيتها.

وأثناء إنشاء الخلايا، تتحرك خلايا كاملة من مكانها كالأميبا[1]، وتفرد جزءًا من نفسها إلى الأمام وتلتصق بموقع ما ثم تجذب نفسها إلى الأمام وتترك موقع تثبيتها السابق وراءها وهلم جرا. وكل خلية منفصلة تحتوى على نموذج ديناميكى من الجزيئات يتضمن مكونات يمكن أن تتفتت، ولكن يمكن استبدالها، وبعض الأجهزة الجزيئية فى الخلية تتخصص فى هضم الجزيئات التى يتضح أنها تالفة، بما يسمح باستبدال بها بجزيئات جديدة تتخلق بناء على تعليمات وراثية (جينية) وتكوّن المركبات الموجودة داخل الخلايا شكلها المعقد بالتجميع الذاتى، أى بالالتصاق بالشركاء المناسبين لها.

وكلما تقدم بنا العمر، تزداد إخفاقاتنا فى التشييد، فأسناننا تتآكل وتتشقق ولا يتم استبدالها.. وتجاويف شعرنا تتوقف عن العمل.. وجلدنا يرتخى أو يتهدل ويتغضن.. كما يتصلب الشكل العام للعين مما يقوض الرؤية القريبة. والأجسام صغيرة السن يمكنها أن تلصق العظام المكسورة بسرعة وتجعلها أقوى مما كانت من قبل، غير أنّ نخر العظام يمكن أن يجعل العظام العجوزة هشة لدرجة أنها تنكسر تحت الضغوط البسيطة.

وأحيانًا ما تفسد عملية الإنشاء من البداية نتيجة غياب الشفرة الوراثية أو ضعفها. وفى حالة النزف المستمر، لا يتوقف نزيف الدم، بسبب غياب المادة المسببة لتجلط الدم. كما يضعُف عملية إنشاء الأنسجة العضلية لدىّ شخص واحد كل ٣٣٠٠ ولادة ذكر بسبب سوء تغذية العضلات، حيث تستبدل بالعضلات تدريجيًا أنسجة

---

(١) كائن وحيد الخلية يتحرك بواسطة أقدام كاذبة. (المترجم)

ضعيفة ودُهن، وهنا نجد أن بروتين "الحثلين dystrophin" لا يوجد أبدا. وفقر الدم المُسمَّى "فقر الدم المنجلي" ينجم عن اختفاء جزيئات الهيموجلوبين (اليحمور).

الأشخاص المصابون بالشلل النصفي السفليّ والشلل الرباعي يعرفون أن أجزاء من أجسامهم لا تُشفى كما يجب. والعمود الفقرى حالة مُتَّطرِّفة وخطيرة جداً، لكن إصابة الجسم بالنُدبات وسوء إعادة نمو الخلايا يحدث بسبب التعرُّض إلى حوادث عديدة. وإذا كانت الأنسجة يُعاد نموها عادة بشكل صحيح، فإن أى إصابة لن تترك أثرًا بدنيًا دائمًا بالجسم.

الجسم ميدان قتال

أى إصابة مرضية للجسم من خارجه لا تلبث أن تحوِّله إلى ميدان قتال، وأحيانًا يكون "للمعتدين" اليد العليا فى تلك المعركة. ومن الديدان الطفيلية إلى الحيوانات الأولية إلى الفطريات إلى البكتريا إلى الفيروسات، تعلمت الكائنات الدقيقة من مختلف الأنواع كيف تعيش داخل جسم الإنسان ثم استخدام أجهزتها الجزيئية لبناء المزيد من تلك الأجهزة باستغلال لبنات البناء الموجودة فى الجسم الذى تهاجمه. ولمواجهة هذا الهجوم، يحشد الجسم دفاعاته الموجودة فى منظوماته أو جهازه المناعى.. وهو جيش جرّار من أجهزة الجسم الجزيئية. هل تعلم أنَّ خلايا دمك البيضاء التى تتحرك كالأميبا تتجول فى مهمة استكشافية مجارى دمك وتدخل فى الأنسجة وتشق طريقها فيما بين الخلايا باحثة عن أى مهاجمين أو غزاة.

لكن كيف يُميِّز جهازك المناعى بين مئات الأنواع من الخلايا التى يجب وجودها فى الجسم يفرقها عن الخلايا والفيروسات المهاجمة التى لا يجب وجودها فى الجسم؟ لقد ظل هذا هو السؤال الجوهرى فى علوم المناعة المعقدة. والإجابة – والتى تُفهم جزئيا فقط حتى الآن – تتضمن تفاعلاً معقداً بين الجزيئات عندما تتعرّف على جزيئات

أخرى، وذلك بالالتصاق بها بشكل انتقائى. ويشمل ذلك الجسيمات المضادة الطليقة - التى تشبه إلى حد ما قذائف موجهة طنانة - والجسيمات المماثلة المربوطة بسطح خلايا الدم البيضاء وغيرها من خلايا الجهاز المناعى، مما يمكنها من التعرف على أى أسطح غريبة عند التلامس معها.

هذه المنظومة تجعل الحياة ممكنة، إذ يسهل الدفاع عن أجسامنا ضد مصيرنا عندما نتناول لحما متروكا فى درجة حرارة الغرفة. ولكن هذه المنظومة تخذلنا فى جانبين أساسيين:

أولا، جهازنا المناعى لايستجيب إلى كل الغزاة أو على الأقل يستجيب بشكل غير كاف. مثلا أمراض الملاريا والدرن الرئوى والقوباء (الطفح الجلدى) والإيدز كلها لها استراتجياتها لتجنب تدميرها داخل الجسم. والسرطان حالة خاصة حيث يكون الغزاة ما هم إلا خلايا تغيرت من الجسم نفسه، وأحيانا يتم ذلك بنجاح بحيث ترتدى قناع الخلايا الصحيحة للجسم ومن ثم تتهرب من اكتشافها.

ثانيا، الجهاز المناعى يبالغ أحيانا فى رد فعله ويهاجم خلايا كان يجب تركها لحالها. وبعض أنواع التهابات المفاصل والذئبة (التقرحات الجلدية) والحمى الروماتيزمية تحدث بسبب هذا الخطأ.

وفيما بين الهجوم فى الوقت غير المناسب، وعدم الهجوم فى الوقت الذى يجب فيه الهجوم، كثيرا ما يفشل الجهاز المناعى مسببا المعاناة والألم وربما الموت.

•

الطب فى الوقت الحاضر

عندما يخفق نشاط الجسم وتتقوض عملية بناء خلاياه ومقاومة الغزاة المهاجمين له، فإننا نلجأ إلى الطب من أجل تشخيص حالتنا وأخذ علاج لها. غير أنّ الإمكانات الطبية الحالية لها جوانب قصور واضحة.

أساليب بدائية

تختلف طرق التشخيص بدرجة كبيرة، من مجرد طرح أسئلة على المريض، إلى عمل أشعة إكس (أشعة سينية) له والنظر فيها، وانتهاء بعمل جراحة استكشافية وتحليلات مجهرية وكيميائية لعينات من مواد مأخوذة من جسم المريض. والأطباء يمكنهم تشخيص الكثير من الأمراض والعلل، غير أن بعضها الآخر لا يزال مستغلقا عليهم. وحتى التشخيص لايتضمّن فهما كاملا: فالأطباء يمكنهم تشخيص الأمراض قبل أن يعرفوا أى شىء عن الجراثيم المسببة لها.. وبمقدورهم الآن تشخيص الكثير من المتلازمات المريضة التى لايعرفون سببها. وبعد سنين من الأبحاث والتجارب العلمية ووفاة أعداد كثيرة غير معروفة من المرضى، يمكنهم حتى معالجة ما لا يفهمونه.. فالدواء يمكن أن يُفيد رغم أن أحدا لايعرف لماذا.

ولو طرحنا جانبا أساليب علاجية مثل التسخين بالحرارة ، والتدليك ، والتعريض لإشعاعات.. إلخ، لتبقى لدينا النوعان الأساسيان من العلاج وهما الجراحة والعقاقير. ومن وجهة نظر جزيئية فإنّ كلا هذين العلاجين ليس رائعًا أو متطوراً كما نتصور.

فالجراحة أسلوب تدخل يدوى مباشر لإصلاح عيوب الجسم، ويقوم بها الآن جراحون مدربون ومتخصصون على مستوى عال. ويقوم الجراحون بخياطة الجلد والأنسجة الممزقة ببعضها البعض لمساعدة الجسم على الشفاء، واستئصال الأورام السرطانية، وتنظيف الشرايين المسدودة أو تسليكها، وحتى تركيب منظمات ضربات القلب واستبدال بالأعضاء المنهارة أخرى سليمة. وهذا الأسلوب مباشر غير أنه قد يكون خطيراً.. فمثلا، أمور التخدير والعدوى ورفض الجسم لزراعة أعضاء به وترك بعض الخلايا السرطانية قد تسبب كلها فشل الجراحة. فالجراحون يفتقرون إلى وسائل التحكم فائقة الدقّة. والجسم يعمل من خلال الأجهزة الجزيئية، وأكثر هذا العمل يتم

داخل الخلايا.. والجراحون لا يمكنهم رؤية الجزيئات ولا الخلايا، ولا يمكنهم إصلاح أى منها.

تؤثر العلاجات بالعقاقير على الجسم عند مستوى الجزيئات. وبعض العلاجات - مثل الأنسولين لمرضى السكرى - تزود الجسم بمواد يفتقر إليها (أى لا يُنتج ما يكفيه منها). أما أكثر تلك العلاجات - مثل المضادات الحيوية فى حالات العدوى - فإنها تزود الجسم بمواد لا يمكن للجسم البشرى إنتاجها أصلا، والدواء يتكون من جزيئات صغيرة. ويمكن تجسيد الصورة لك بالقول أن الكثير جداً منها يمكنك وضعه فى راحة يدك. ويتم إدخال تلك المواد فى الجسم (وأحياناً توجَّه إلى منطقة مُعيَّنة بواسطة إبرة أو ما شابه ذلك)، حيث تختلط بالدم وتتجول خلاله وخلال الأنسجة. وهى تصطدم عادة بجزيئات أخرى من كل الأنواع وفى كل الأماكن، غير أنها تلتصق بنوعيات معيَّنة من الجزيئات وتؤثر عليها فقط.

المضادات الحيوية، مثلها مثل البنسلين، عبارة عن سموم انتقائية. وهى تلتصق بالأجهزة الجزيئية فى البكتيريا وتقوِّضها وتحطمها، وبهذه الطريقة، تقضى على العدوى التى تسببها. الفيروسات حالة أكثر صعوبة، لأنها أكثر بساطة وتحتوى على عدد أقل من الأجهزة الجزيئية المُعرضة للخطر. كذلك، فإنَّ الديدان والفطريات والأوليات صعبة، لأنَّ أجهزتها الجزيئية أقرب شبهًا بتلك الموجودة فى الجسم البشرى، وبالتالى تكون مهمة القضاء عليها أصعب. أما السرطان فهو أصعب الحالات على الإطلاق، فالخلايا السرطانية تتكون من خلايا الجسم نفسه ومحاولات تسميم الخلايا السرطانية تؤدى عادة إلى تسميم بقية خلايا جسم المريض كلها.

وهناك عقاقير تلتصق جزيئاتها بجزيئات من الجسم البشرى وتقوم بتعديل أو تغيير سلوكياتهم. مثلا بعضها يقلل إفراز حمض المعدة، وبعضها ينشِّط الكليتين، وأكثرها يؤثر على الديناميكية الجزيئية للدماغ. وأصبح تصميم جزيئات العقاقير لكى

تلتصق بأهداف محددة لها صناعة رائجة الآن، وتقدم واحدة من النتائج والثمرات الكثيرة قصيرة المدى التي تحفز التطويرات في علم هندسة الجزيئات.

قدرات محدودة

قدرة الطب الحالي محدودة بعاملين: مدى فهمه للأمراض وأدواته لعلاجها. ومن جوانب كثيرة يُعتبر الطب فنًا أكثر منه علمًا. ويقول "مارك بيرسون" من مؤسسة (دوبونت): "في بعض المجالات أصبح الطب علمًا بدرجة كبيرة وفي مجالات أخرى ليس علمًا بالدرجة نفسها. إننا ما زلنا نفتقر إلى ما يمكن أن أسميه "مستوى علميًا مقبولاً". كثير من الناس لا يدركون أننا في الحقيقة لا نعرف أساسًا كيف تسير الأمور. إنّ الأمر يشبه سيارة نقوم بتفكيكها جزءا جزءا، بأمل أن نفهم كيف تعمل كل تلك الأجزاء معًا. نحن نعرف بالطبع أن هناك مُحركًا بمقدمة السيارة، وأن هذا المحرك موجود تحت غطاء السيارة الأمامي، ولدينا فكرة أنه كبير وثقيل ولكننا لا نرى أبدا الحلقات التي تتيح للكباسات الانزلاق، داخل الأسطوانات بكتلة المحرك. بل نحن لا نفهم حتى أن الانفجارات النظامية المتتابعة الداخلية مسؤولة عن توليد الطاقة التي تدفع السيارة إلى الأمام".

التوصل إلى أدوات أفضل سوف يوفر لنا معرفة أفضل وطرق أفضل لتطبيق تلك المعرفة لتحقيق الشفاء. وجراحات اليوم يمكنها إعادة ترتيب الأوعية الدموية، غير أنها بدائية للغاية في إصلاح الخلايا. والعلاجات بالعقاقير الآن يمكنها تحديد جزيئات معيَّنة كأهداف لها، لكن فقط بعض تلك الجزيئات وعلى أساس نوعها فقط. ولا يمكن للأطباء اليوم التأثير على جزيئات في خلية واحدة وترك الجزيئات المماثلة في خلية مجاورة لها كما هي، وذلك لأن الطب الآن لا يمكنه تطبيق السيطرة الجراحية على مستوى الجزيئات كلها.

دور التكنولوجيا النانوية فى الطب

سوف تؤدى التطورات فى التكنولوجيا النانوية إلى إيجاد حاسات طبية متطورة. وكما يقول كيميائى البروتينات "بيل دوجرادو": "لعل أول استخدام سنراه هو فى التشخيصات: أى القدرة على أخذ مقدار قليل من الدم من شخص ما، بمقدار شكة إبرة فقط، وتشخيصه بحثًا عن مئات الأمور المختلفة. والأجهزة الحيوية قادرة بالفعل على عمل ذلك، وأعتقد أننا يجب أن نكون قادرين على تصميم جزيئات أو مجموعات من الجزيئات تحاكى المنظومات الحيوية بالجسم".

ولكن على المدى الطويل، فإنَّ قصة التكنولوجيا النانوية فى الطب سوف تكون قصة مدّ السيطرة الجراحية إلى المستوى الجزيئى. وأسهل التطبيقات سوف تساعد الجهاز المناعى الذى سوف يقوم بمهاجمة الغزاة خارج الأنسجة. وسوف تتطلب المزيد من التطبيقات الصعبة قيام الأجهزة الجزيئية بمحاكاة خلايا الدم البيضاء، وذلك بالدخول فى الأنسجة للتفاعل مع خلاياها. أما التطبيقات المستقبلية فسوف تنطوى على تعقيدات فى إجراء الجراحة على المستوى الجزيئى للخلايا المنفصلة.

وعندما ننظر إلى كيفية حل المشاكل المتباينة سوف تلاحظ أنَّ بعضها الذى يبدو صعبًا الآن سوف يصبح سهلا فيما بعد، بينما ترى أن البعض الآخر الذى يبدو سهلا الآن سيتضح لاحقًا أنه أكثر صعوبة. إن الصعوبة الظاهرية فى علاج الأمراض والعلل تتغير دائمًا: فعلى سبيل المثال، كان شلل الأطفال من قبل شائعًا ولا يمكن علاجه، والآن أصبح منع حدوثه هينًا. والزُهرى[٢] كان يسبب من قبل تدهورًا بدنيًا متواصلاً يفضى إلى الجنون والموت، أصبح يُعالج الآن بأخذ حُقنة واحدة.

قدم الرياضى لم يكن يُنظر إليه قط ككارثة كبرى، غير أنه ما زال حتى الآن من الصعب علاجه. وينطبق هذا القول نفسه على نزلات البرد. وهذا النمط سيستمر: فالأمراض المميتة قد يسهل التعامل معها، بينما ستظل الأمراض البسيطة من الصعب

(٢) مرض معدٍ مزمن ينتقل غالبا بالاتصال الجنسى. (المترجم)

علاجها، والعكس بالعكس. وكما سنرى، فإنَّ الطب المتقدم المبنى على التكنولوجيا النانوية سوف يكون قادرًا على التعامل مع أى مشاكل بدنية تقريبًا، غير أنَّ مستوى الصعوبة قد يكون مدهشًا. والطبيعة لا تبالى أبدا بإحساسنا بالملاءمة أو المعقولية.. فالبشاعة والصعوبة ليستا الشىء نفسه بالمرة.

العمل خارج الأنسجة

إحدى طرق تطبيق التكنولوجيا النانوية هى استخدام أجهزة مجهرية متنقلة، يتم صنعها بواسطة معدات بناء جزيئية. ويشبه ذلك أجهزة حماية المنظومات البيئية ومنظومات التنظيف المتنقلة التى شرحناها فى الفصل السابق. ومثلها، فإنها تكون إما منحلة حيويًا أو ذاتية التجمُّع أو يجمعها شىء ما آخر بمجرد انتهاء عملها. ومثلها، فإنها تكون أكثر صعوبة فى تطورها عن الأجهزة النانوية البسيطة الثابتة فى مكانها، غير أنها تكون فى الوقت نفسه مجدية ومفيدة. ويبدأ التطور بالتطبيقات الأكثر بساطة، لذلك دعنا نقوم بإلقاء نظرة على ما يمكن عمله بدون الدخول فى الأنسجة الحية.

الجلد هو أكبر أعضاء الإنسان، وحالته المكشوفة للجو تجعله عُرضة للكثير من الأذى. بيد أن حالة انكشافه هذه تجعل من السهل أيضًا علاجه. ولعله من بين التطبيقات الأولى للتصنيع الجزيئى تلك المنتجات الشائعة شبه الطبية، أدوات التجميل. فالكريم المعبأ بأجهزة نانوية يمكن أن يؤدى وظيفة أفضل وأكثر انتقائية فى تنظيف الجلد والبشرة مقارنة بأى منتج آخر حاليًا. فبمقدوره إزالة المقدار الصحيح من الجلد الميت وإزالة الزيوت الزائدة وإضافة الزيوت الناقصة ووضع الكميات الصحيحة من مركبات الترطيب الطبيعية، بل وحتى تحقيق الهدف الصعب ألا وهو "تنظيف المسام العميقة" بالدخول فعلاً فى المسام وتنظيفها مما بداخلها. ويجوز أن يكون الكريم عبارة عن مادة ذكية ناعمة ومريحة ويسهل تقشيرها.

الفم والأسنان واللثة مزعجة للغاية. وإن أصبحت رعاية الأسنان دورة لا تنتهى من تنظيفها بالفرشاة وتنظيف ما بينها بخيط رفيع والاستسلام لتسوُّس الأسنان وأمراض اللثة بشكل بطيء للغاية لكن مستمر. وأى غسول للفم ممتلئ بأجهزة نانوية ذكية يمكنها أن تفعل كل ذلك التنظيف وأكثر منه وبجَهد أقل بكثير.. مما يجعل استخدامه أمرًا مرغوبًا فيه.

غسول الفم هذا سيتعرَّف على البكتيريا المُمرضة ويدمرها، وفى الوقت نفسه يسمح للكائنات الدقيقة غير الضارة بالفم من أن تنشط فى بيئة صحية ملائمة لها. وأكثر من ذلك ستتعرَّف تلك الأداة على الغذاء أو طبقة المادة المخاطية أو البكتيرية التى تتكون على سطح السن أو القلح[٢] وتزيلها من الأسنان ليسهل شطفها بالماء. ولكون هذه الأدوات عالقة فى السائل وقادرة على السباحة فيه، فإنها تكون قادرة على الوصول إلى أماكن من أسطح الأسنان لا يمكن لأهداب فرشاة الأسنان أو ألياف خيط تنظيف ما بين الأسنان، الوصول إليها. وباعتبارها أدوات طبية نانوية قصيرة العمر، يمكن صنعها بحيث تستمر فقط لعدة دقائق فى الجسم قبل تفتتها إلى مواد مماثلة لتلك الموجودة فى الغذاء (مثل الألياف). وفى ظل هذا النوع من الرعاية اليومية للأسنان منذ عُمر مُبكر، يمكن الحيلولة تمامًا دون تلف الأسنان والإصابة بأمراض اللثة. وإذا كانت تلك العلل موجودة بالفعل، يمكن تخفيفها بدرجة كبيرة.

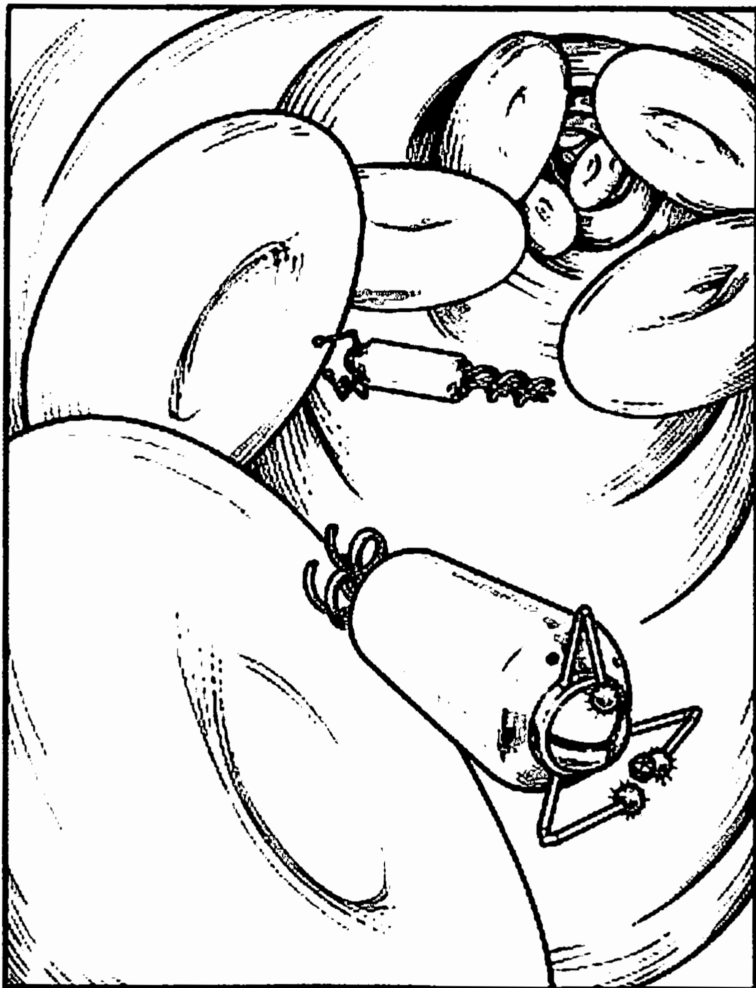
ولو ذهبنا أبعد من هذا العلاج السطحى، لانتقلنا بين الخلايا وتمكنا من تعديلها. ولننظر فيما يمكن عمله بهذا العلاج داخل الجسم، ولكن خارج خلايا الجسم. إنَّ مجرى الدم ينقل كل شيء من العناصر الغذائية إلى خلايا الجهاز المناعى، ويعجّ بإشارات كيميائية وكائنات مسببة للعدوى أيضًا.

وهنا من المفيد أن نفكِّر فى إطار الأجهزة الجزيئية الطبية كما لو كانت تشبه غواصات صغيرة، كتلك المبينة بالشكل (١١). كل واحدة من تلك الغواصات كبيرة بما

---

(٢) مادة مترسبة على الأسنان عبارة عن بقايا طعام وإفرازات عضوية. (المترجم)

يكفى لحمل حاسوب نانوى تبلغ قوته كالحاسوب الكبير الذى تم صنعه فى أواسط ثمانينيات القرن العشرين، علاوة على قاعدة بيانات هائلة (بليون بايت)، ومجموعة كاملة من الأدوات اللازمة للتعرف على الأسطح الحيوية، وأدوات لقتل الفيروسات والبكتريا والكائنات الغازية الأخرى. وكما رأينا، فإنَّ الخلايا المناعية تنطلق فى مجرى الدم وتبحث فى الأسطح عن أى أجسام غريبة، وعندما تعمل بشكل صحيح، فإنها تهاجم وتدمر أى شىء لا يجب وجوده هناك. ويمقدور الأجهزة المناعية تأدية هاتين الوظيفتين بشكل معقول. وبسبب الحاسات والحواسيب التى تحملها على متنها، تتمكن من التصرف بمجرد صدور ذات الإشارات الجزيئية التى يصدرها الجهاز المناعى.. ولكن بقدرة أكبر على التمييز والتعرف على الغزاة. وقبل إرسالها إلى داخل الجسم فى مهمتها للبحث والتدمير، يمكن برمجتها بمجموعة من الخصائص التى تمكنها من تمييز أهدافها عن أى شىء آخر. والجهاز المناعى للجسم يمكنه أن يستجيب فقط للكائنات الغازية التى تعرَّف عليها جسم المرء.. أما الأجهزة المناعية فيمكن برمجتها لكى تستجيب لأى شىء يصادفه عالم الطب.



الشكل (١١) الأجهزة المناعية

يمكن أن تُعزِّز الأدوات النانوية الطبية من الجهاز المناعى باكتشاف وإبطال فاعلية البكتريا والجراثيم غير المرغوب فيها. أداة المناعة التى فى مقدمة الشكل وجدت فيروسًا، أما الأخرى فقد لمست لتوها خلية دم حمراء – منقول بتصرُّف من "مجلة الأمريكى العلمى"، عدد يناير ١٩٨٨.

يمكن تصميم الأجهزة المناعية لاستخدامها في مجرى الدم أو القناة الهضمية (مثل غسول الفم المذكور أعلاه الذي استخدم تلك القدرات في اصطياد البكتيريا الضارة) وقتلها. ويمكنها أن تطفو وتدور، كما تفعل المضادات الحيوية، أثناء بحثها عن الغزاة (تمهيداً لإبطال فعاليتها). ولكي تهرب من محاصرة خلايا الدم البيضاء لها أثناء دوريات استكشافها يمكن للأجهزة المناعية أن تظهر، أو تبدو من الخارج، كجزيئات عادية - أي كالجزيئات التي يعرفها الجسم جيداً ويثق فيها - كالضابط المرافق لك الذي يرتدي نفس الزي الرسمي للشرطة.

وعند التعرُّف على أحد الغزاة، يمكن ثقبه وترك محتوياته تسيل إلى الخارج، وبذلك تنتهي فعاليته. فإذا كان معروفاً أن تلك المحتويات خطرة على الجسم، يمكن للأجهزة المناعية أن تستمر قابضة عليها لمدة طويلة تكفي لتفكيكها أو تدميرها وتفتيتها بدرجة أكبر وتمزيقها إرباً.

لكن تُرى كيف ستعرف تلك الأدوات متى يحين وقت رحيلها؟.. إذا كان الطبيب المسؤول متأكداً من إكمال المهمة في يوم واحد مثلا، يمكنه تصميم الأداة المذكورة بحيث تتفتت أو تتحطم بعد ٢٤ ساعة. أما إذا كان زمن العلاج غير معروف أو متغيِّر، يمكن للطبيب مراقبة مدى تقدم المهمة ثم يوقفها في الوقت المناسب، وذلك بإرسال جزيء معيَّن - مثلا أسبرين أو شيء أكثر سلامة - كعلامة على إيقاف العمل في المهمة. بعدئذ يمكن تفريغ الأدوات الموقفة فعاليتها مع الفضلات الأخرى التي يتخلَّص منها الجسم.

العمل داخل الأنسجة

في معظم أجزاء الجسم تمر أدق الأوعية الدموية والشعيرات الدموية، خلال فراغات تبلغ أقطارها فقط ما يعادل بضع خلايا. وبعض خلايا الدم البيضاء يمكنها

مغادرة تلك الأوعية لكى تنتقل إلى الخلايا المجاورة. والأجهزة المناعية والأدوات المماثلة، التى تقل بالطبع فى الحجم عنها، يمكن أن تفعل ذلك أيضًا. وفى بعض الأنسجة يكون ذلك سهلا وفى بعضها الآخر يكون أصعب.. ولكن مع التصميم الجيد لها واختيارها، يمكن وصولها أساسًا إلى أى نقطة فى الجسم والقيام بالإصلاحات اللازمة بها.

ومجرَّد قتال الكائنات الدقيقة فى مجارى الدم سيكون تقدمًا كبيرًا، من خلال تقليل أعدادها وكبح مدى انتشارها. غير أن الأجهزة النانوية الطبية سوف تتمكن من اصطياد الغزاة بجميع أرجاء الجسم والقضاء عليها نهائيًا.

القضاء على الغزاة

الأمراض السرطانية مثال مهم جداً ورئيسى. والجهاز المناعى يعيد تنظيم نفسه ويقضى على أكثر الأورام السرطانية المحتملة. إلا أن بعضها يصمد ويستمر فى الوجود. ويتمكن الأطباء من التعرف على الخلايا السرطانية من مظهرها وعلاماتها الجزيئية المميزة، غير أنهم لا يتمكنون عادة من إزالتها كلها بالجراحة، ولا يمكنهم غالبًا العثور على سم مناسب يختارونه. ولكن الأجهزة المناعية لن تجد صعوبة فى التعرف على الخلايا السرطانية، أخيرًا، سوف تستطيع مطاردتها وتدميرها فى أى مكان تنمو به. والواقع أنَّ تدمير كل خلية سرطانية سوف يُشفى المريض من السرطان.

البكتريا والكائنات الحية العضوية الدقيقة (المتعضيات) والديدان والطفيليات الأخرى أيضًا لها علامات جزيئية متميِّزة. وبمجرد التعرف عليها تبدأ عملية تدميرها وإنقاذ الجسم من المرض الذى تسببت فيه. وبهذه الطريقة يمكن للأجهزة الجزيئية التعامل مع الدرن والتهاب الحلق والبرص والملاريا والدوسنتاريا الأميبية ومرض النوم وعمى النهر والديدان المتشَبِّتة (الخطافية) والديدان المُثقبة ومرض الفطر الأبيض (كانديدا) وحُمَّى الوادى والبكتريا المقاومة للمضادات الحيوية، وحتى مرض قدّم

الرياضى. وكل تلك الأمراض تسببها خلايا غازية أو كائنات دقيقة أكبر منها (مثل الديدان). ويقدِّر المسئولون الصحِّيون أنَّ أمراض الطفيليات الشائعة فى دول العالم الثالث، تؤثر على أكثر من بليون شخص. والكثير من تلك الأمراض لا يوجد لها علاج دوائى مناسب. وكلها يمكن القضاء عليها فى النهاية، باعتبارها تهديدات لصحة البشر، بواسطة شكل متقدِّم جداً من الدواء النانوى.

الخلايا المُحتشِدَة

تدمير الكائنات الغازية أمر مفيد بلا شك. غير أنَّ الإصابات والمشاكل البدنية تطرح مشاكل أخرى. وبالطبع يمكن للأدوية المتقدمة أن تبنى وتعيد هيكلة الأنسجة. وهنا يمكن للأدوات الطبية النانوية أن تُحاكى وتُوجِّه آليات الإنشاء والإصلاح الذاتية للجسم بهدف استعادة الأنسجة الصحية.

ولكن ما النسيج الصحى؟.. إنه يتكون من خلايا طبيعية بأنماط طبيعية فى قالب طبيعى، وكلها مُنَظمة بحيث تكون لها علاقات طبيعية بالأنسجة المجاورة لها. والجراحون اليوم، يستخدمون أدوات ضخمة وبدائية لإصلاح بعض المشاكل عند مستوى الأنسجة. فأى جرح يُفسد العلاقة الصحية بين جزأين مختلفين من النسيج، وبمقدور المواد الجراحية اللاصقة والخيوط الجراحية أن تعالج هذه المشكلة جزئيًا بواسطة تثبيت الأنسجة فى وضع يساعدها على الالتئام والشفاء. وبالمثل تحقق جراحة القناة البديلة للشريان التاجى شكلا عامًا أكثر صحية للأنسجة، أى يُحقق ضخًا فعالا للدم إلى عضلة القلب. والجراحون يقطعون الأنسجة ويخيطونها، ولكن عليهم أن يعتمدوا على النسيج لكى يُشفى جرحه بأفضل طريقة متاحة له.

الشفاء يخلق علاقات صحية طبيعية على نحو أكثر دقَّة فالخلايا يجب أن تنقسم وتنمو وتنتقل وتملأ الفراغات وعليها أن تُعيد تنظيم نفسها لتكوين شبكات مترابطة قوية

من الأوعية الدموية الدقيقة. كما أن الخلايا يجب أن تصنع مواد معيَّنة لتكوين قالب بنيوى بين الخلايا، مثل الكولاجين لتوفير الشكل الصحيح والمتانة لها، أو حبيبات معدنية لإعطائها قوة وصلابة مثل العظام. ولكنها غالبًا ما تصنع بدلا من ذلك أنسجة متندبة[٤] غير مرغوب فيها مما يعوق الشفاء السليم.

ومع توفُّر دراية كلفية بطريقة إجراء تلك العمليات (وبمقدور الأدوات النانوية المساعدة فى تجميع تلك المعرفة)، ومع توفر برمجيات جيدة وكافية لتوجيه هذه العملية - وهذا تحدٍ أكثر صعوبة - وسوف تتمكن الأجهزة الطبية النانوية من توجيه عملية الشفاء هذه. والمشكلة هنا هى توجيه حركة وسلوك تجمع من الخلايا الحية النشطة.. وهذه العملية يمكن تسميتها بـ "حشد الخلايا".

تستجيب الخلايا للكثير جداً من الإشارات الصادرة من بيئتها : مثل الكيماويات الموجودة فى السوائل المجاورة، والإشارات التى تصدرها جزيئات بالخلايا المجاورة بالإضافة إلى القوى الميكانيكية المؤثرة عليها. وتستخدم الأدوات الحاشدة للخلايا تلك الإشارات لحفز انقسام الخلايا حيثما يلزم وجودها، ولمنع هذا الإنقسام حيثما لا يجب وجودها. وتعمل تلك الأدوات على حث الخلايا على الهجرة فى اتجاهات مناسبة، أو تقوم ببساطة بالتقاطها وتحريكها وتوصيلها إلى المكان المطلوب وجودها فيه، ثم حثها على بناء علاقة صحيحة مع الخلايا المجاورة لها. وأخيراً، تقوم تلك الأدوات بحفز الخلايا لإحاطة نفسها بالمواد الصحيحة المكوِّنة للنسيج المنتشر بين الخلايا. أو - كمثل صاحب كلب صغير الذى قام فى يوم بارد بتغطية كلبه بسترة صوفية - فإنها تبنى مباشرة الإنشاءات المحيطة الصحيحة للخلية بموقعها الجديد.

وبهذه الطريقة، يمكن لفرق متعاونة من الأدوات الحاشدة للخلايا أن تقوم بتوجيه شفاء الأنسجة أو إعادة تنظيمها، بما يضمن أن خلاياها تُشكِّل أنماطًا صحية ونسيج بين خلوى صحىّ، وأن يكون لتلك الأنسجة علاقة صحيةٌ مع الخلايا المحيطة بها. وإذا لزم الأمر يمكن للخلايا أن تُعدِّل نفسها داخليًا، كما سوف نوضِّح لاحقًا.

---

(٤) أى عليها ندب. (المترجم)

مرة أخرى، نرى أنَّ الجلد يعد مثالا سهلا، وربما يكون مكانًا طبيعيًا للبدء به عمليًا. الناس غالبًا ما يريدون شعرًا عندما يخلو جلدهم منه، ويريدون جلدًا عاريًا من الشعر حيثما يوجد شعر به. وبمقدور أجهزة حشد الخلايا تحريك وتدمير خلايا أجربة[٥] الشعر، للقضاء على أى شعر غير مرغوب فيه، أو إنماء المزيد من الخلايا المطلوبة وتنظيمها فى أجربة سليمة، حيثما يراد إنماء الشعر. ومن خلال تعديل حجم أجربة الشعر وخواص بعض الخلايا، يمكن جعل الشعر خشنًا أو ناعمًا أو سبطًا (غير مجعَّد) أو متموجًا. ولن تنطوى تلك التغيرات على أى ألم أو كيماويات سامة أو روائح كريهة. وباستطاعة أدوات حشد الخلايا الهبوط والتغلغل فى طبقات الجلد، وإزالة الخلايا غير المرغوب فيها، وحفز إنماء خلايا جديدة، وتسوية الأوعية الدموية البارزة بشكل غير طبيعي، وضمان دوران جيد للدم عن طريق توجيه نمو أى أوعية دموية لازمة، وتحريك الخلايا والألياف هنا وهناك بُغية إزالة حتى التغضنات العميقة.

وفى الجانب المقابل تمامًا، سوف تقوم عملية حشد الخلايا بإحداث ثورة فى علاج الحالات المهددة للحياة. فمثلا السبب الأكثر شيوعًا لأمراض القلب هو نقص أو توقف تغذية عضلة القلب بالدم. وأثناء ضخ الدم المؤكسَج[٦] إلى بقية أجزاء الجسم، يُحوِّل القلب جزءًا منه لاستخدامه الخاص من خلال الشريانين التاجيين. وعندما تضيق تلك الأوعية الدموية، نتحدث عن "اعتلال الشريانين التاجيين". وعندما ينسدان تمامًا مسببين موت عضلة القلب، فإننا نتحدث عن "نوبة قلبية".

الأدوات التى تعمل بمجرى الدم يمكنها أن تقضم برفق وبشكل مستمر الرواسب الناجمة عن تصلُّب الشرايين، ومن ثم توسيع الأوعية الدموية المصابة به. كما أن أدوات حشد الخلايا يمكنها إعادة جدران وبطانات الشرايين إلى حالتها الصحية وذلك بالتأكيد من وجود الخلايا الصحيحة والكيانات الداعمة لها فى أماكنها الصحيحة، ويحول ذلك دون حدوث الكثير من الأزمات القلبية.

---

(٥) تجاويف صغيرة فى الجسم. (المترجم)

(٦) مزود بالأكسجين. (المترجم)

لكن تُرى ما الذى يحدث إذا دمرت النوبة القلبية بالفعل نسيج العضلة وخلَّفت وراءها للمريض قلبًا متندبًا متقوَضًا ويؤدى وظيفته بشكل سيئ؟ من جديد نجد أن أدوات حشد الخلايا بمقدورها تنفيذ إصلاحات، حيث تشُق طريقها إلى داخل النسيج المتندب وتزيله قطعة قطعة وتستبدل به ليفة عضلية جديدة. وإذا لزم الأمر، يمكن إنماء الليفة الجديدة بالتأثير بسلسلة من المؤثرات الجزيئية الداخلية على خلايا مُختارة بعضلة القلب، وذلك "لتذكيرها" بتعليمات النمو التى نفذتها منذ عقود خلت أثناء نموها بالجنين.

كما يتعيَّن على إمكانات حشد الخلايا أن تتعامل مع الأشكال المختلفة لالتهابات المفاصل. فعندما يحدث ذلك بسبب هجوم الجهاز المناعى للجسم ذاته، يمكن التعرُّف على الخلايا المنتجة للجسيمات المضادة المسببة للتلف والقضاء عليها.. ثم تعمل منظومة حشد الخلايا داخل المِفصل حيث تزيل الأنسجة العليلة والبروزات المُتكلسة وغيرها.. ثم تنظِّم أنماط الخلايا والمادة المنتشرة بين الخلايا بحيث يؤدى المِفصل عمله بشكل صحى سلس وبدون ألم. ومن الواضح أن معرفة كيفية إصلاح القلوب وإصلاح المفاصل سوف يشتركان فى بعض التكنولوجيات الأساسية، غير أنَّ القسم الأكبر من الأبحاث والتطويرات سوف يُخصَّص لأنسجة خاصة وظروف بعينها. ويمكن استخدام عملية مماثلة - ولكن مرة أخرى يجب أن تناسب الظروف القائمة - لتقوية العظام وإعادة تشكيلها وتصحيح هشاشتها.

وفى طب الأسنان، يمكن استخدام مثل تلك العملية لملء ثقوب الأسنان، ولكن ليس بملغم الزئبق، وإنما بعاج أسنان وميناء طبيعيين. وفى يوم ما سوف يتيسَّر تصحيح التلف الحادث فى منطقة ما حول الأسنان، حيث تعمل الأدوات الطبية النانوية على تنظيف الجيوب وربط الأنسجة ببعضها بعضًا وتوجيه عملية إعادة النمو. حتى الأسنان المفقودة يمكن إعادة نموها من جديد، وذلك من خلال السيطرة الكافية على سلوكيات الخلايا.

التعامل مع الخلايا

تحرُّك الأدوات النانوية خلال الأنسجة بدون ترك أى أثر للتلف أو الضرر يتطلَّب أدوات قادرة على التعامل الصحيح مع تحركات الخلايا وتوجيهها وكيفية إصلاحها. ويبقى الكثير الذى يمكن تعلمه - والذى يسهل تعلمه بأدوات نانوية - إلا أنَّ معرفتنا الحالية عن الخلايا تكفى للبدء فى حل مشكلة كيفية إجراء جراحة للخلايا.

علم أحياء الخلية أصبح مزدهراً حتى فى أيامنا هذه. فالخلايا يمكن جعلها تعيش وتنمو فى مستنبتات مختبرية إذا وُضعت فى سائل به عناصر غذائية مناسبة وأكسجين وغير ذلك. وحتى بواسطة التقنيات البدائية الحالية، فإننا نعرف الكثير عن كيفية استجابة الخلايا لكيماويات متباينة وخلايا مجاورة مختلفة وحتى لو تم وخزها أو قطعها بالإبر. ولقد كان إجراء جراحة بدائية إلى حد ما لخلايا منفصلة أمراً روتينياً لسنوات كثيرة فى المختبرات البحثية.

واليوم يمكن للباحثين حقن حمض نووى ريبى منقوص الأكسجين (دنا) جديد فى الخلايا باستخدام إبرة رفيعة، والثقوب الضئيلة للغاية فى غشاء الخلية تنغلق تماماً تلقائياً. بيد أنَّ كلا من تلك التقنيتين تستخدمان أدوات تُعد ضخمة للغاية وخرقاء على مستوى حجم الخلية - كما لو كنا نُجرى جراحة ما بواسطة فأس أو كرة تدمير المبانى، بدلا من استخدام المشرط - أما الأدوات البالغة الضآلة بالمقياس النانوى فسوف تمكننا من تنفيذ إجراءات طبية تتضمن جراحات دقيقة لخلايا منفصلة.

القضاء على الفيروسات بإجراء جراحة للخلايا

بعض الأمراض الفيروسية تستجيب للعلاجات التى تدمر الفيروسات فى الأنف والحلق أو فى مجرى الدم.. والإنفلونزا ونزلات البرد أمثلة على ذلك. وثمة أمراض

أخرى كثيرة يمكن أن تتحسن تحسنًا كبيرًا بهذه الطريقة لكن لا يمكن القضاء تمامًا على الفيروسات المسببة لها. وكل الفيروسات تعمل بحقن مورثاتها (جيناتها) فى الخلية ثم السيطرة على الآليات الجزيئية بها واستخدامها لإنتاج المزيد من الفيروسات. وهذا جزء من حقيقة كون الأمراض الفيروسية يصعُب علاجها، فمعظم العمل تقوم به الأجهزة الجزيئية للجسم ذاته، والتى لا يمكن إيقافها بشكل كلى. وعندما يتعامل الجهاز المناعى مع مرض فيروسى، فإنه يُهاجم الجسيمات الفيروسية الطليقة قبيل دخولها فى الخلايا، وفى الوقت نفسه يُهاجم الخلايا المصابة قبل أن تتمكن من استنساخ المزيد من الجسيمات الفيروسية.

غير أنَّ بعض الفيروسات تحقن مورثاتها بين مورثات الخلية ثم تتخفى أو تكمُن. وتظل الخلية تبدو طبيعية للجهاز المناعى، ربما لشهور أو سنوات قبل أن تنشط المورثات وتبدأ فى عملية العدوى من جديد. وهذا النمط هو المسؤول عن طول مدة الإصابة بمرض القوباء (التهاب جلدى) والتقدم البطىء المميت لمرض الإيدز.

ومن الممكن القضاء على تلك الفيروسات بالجراحات الخلوية على مستوى الجزىء. والأدوات المطلوبة يمكن أن تكون صغيرة للغاية، بحيث توجد كلها داخل الخلية الواحدة إذا لزم الأمر. وكتب "فريد فاهى"، الذى يرأس مشروع (حفظ الأعضاء البشرية بتجميدها) بمختبر "جيروم هولاند" لزرع الأعضاء التابع لهيئة الصليب الأحمر الأمريكية يقول: "تفيد الحسابات بأن الحاسات الجزيئية والحواسيب الجزيئية والمستجيبات الجزيئية يمكن جمعها كلها فى أداة صغيرة جدًا، بحيث يمكن إدخالها فى خلية واحدة، وفى الوقت نفسه، تكون قوية بما يكفى لإصلاح العيوب الجزيئية والبنيوية بالخلية (أو لتقويض الكيانات الغريبة مثل الفيروسات والبكتريا) بسرعة بمجرَّد تجمعها.. وليس هناك أى سبب يحول دون صنع تلك الأدوات، وأداؤها كما هو مصمم لها".

والمفيد أيضًا أن أداة جراحة الخلية الموجودة خارج الخلية، يمكنها اختراق غشاء الخلية بمجساتها. وفى أطراف تلك المجسات تُركَّب أدوات وحاسات وربما أيضًا حاسوب صغير إضافى. تلك الأشياء يمكنها اختراق أغشية متعددة وإخراج وفرد الحمض النووى الريبى المنقوص الأكسچين (دنا) وقراءته ثم إعادته من جديد إلى داخل الخلية ولفه و"مراجعة دقته" بمقارنة تسلسلاته فى خلية ما بتسلسلاته فى الخلايا الأخرى.

وعند قراءة التسلسل الجينى الذى يُعبر عن رسالة فيروس الإيدز بالخلية، يمكن برمجة جهاز جراحة جزيئى للاستجابة له كجهاز مناعى وتدميره. ولكن يبدو الأصوب منطقيًا هو ببساطة استئصال جينات فيروس الإيدز نفسها وتوصيل طرفىّ (دنا) كما كانا قبل العدوى بالمرض. وبهذه الطريقة وقتل أى فيروسات توجد فى الخلية، تتمكن هذه الجراحة من إعادة الخلية إلى حالتها الصحيّة.

الإصلاحات الجزيئية

تتكون الخلايا من بلايين الجزيئات التى تُبنى كل واحدة منها بواسطة أجهزة جزيئية. وتتجمّع هذه الجزيئات ذاتيا لتكوين جزيئات أكبر، ويتم الكثير من تلك الإنشاءات ديناميكيًا، بحيث تحدث عمليات التفتت وإعادة التشكيل على الدوام. وسوف تكون أدوات جراحة الخلايا قادرة على صنع جزيئات من الأنواع التى تفتقر إليها الخلايا، بينما تدمر الجزيئات التى تلفت أو الموجودة بأعداد مُفرطة. وسوف تكون تلك الأدوات قادرة ليس فقط على إزالة جينات الفيروسات، ولكن أيضًا إصلاح التلف الكيميائى الإشعاعى الذى أصاب جينات الخلايا. أما أدوات جراحة الخلايا، فسوف تقدر على إصلاح الخلايا بغض النظر - تقريبًا - عن الحالة الأصلية لتلفياتها.

وعن طريق تنشيط فعالية جينات الخلايا وإبطال فعاليتها، فبمقدورها حفز تقسيم الخلايا وتحديد أنواع الخلايا المراد تكوينها. وسوف يكون ذلك مساعدة كبيرة لعمليات حشد الخلايا وشفاء أنسجة الجسم العليلة.

ولأن جراحى اليوم يعتمدون على القدرة التلقائية والتنظيم الذاتى للخلايا والأنسجة لتجمُّعها وشفاء الأجزاء التى تمثلها، لذلك سوف تعتمد أدوات جراحة الخلايا على إمكانات القدرة التلقائية والتنظيم الذاتى للجزيئات للتجمُّع وشفاء الأجزاء التى تجمعها. وشفاء أى جُرح ناتج عن عملية جراحية يتطلّب إزالة الخلايا الميتة وإنماء خلايا جديدة ويعقبها عملية بطيئة ومؤلمة لإعادة تنظيم الخلايا. وفى المقابل، فإنَّ تجمُّع الجزيئات يتم تقريبًا فوريًا، ويحدث على مستوى أقل بكثير من أكثر مستقبلات الألم حساسية. و"الشفاء" لن يبدأ عقب إتمام أدوات الإصلاح لعملها، كما يحدث فى الجراحات التقليدية: أى إن الذى سيحدث هو أنَّ الأنسجة سوف تكون قد شُفيت تمامًا بمجرّد انتهاء الأدوات من الجراحة.

شفاء الجسم والأطراف

القدرة على حشد الخلايا وإجراء إصلاحات جزيئية وجراحات للخلايا، سوف تفتح آفاقًا جديدة أمام الطب. وتتحقق هذه القدرات على نطاق صغير غير أنَّ تأثيراتها تغطى مجالا أكبر بكثير.

تصحيح الكيمياء

فى أمراض كثيرة، يُعانى الجسم ككل من سوء تنظيم الجزيئات المُرسلة لإشارات والتى تنتقل فى سوائل الجسم. والكثير من تلك الأمراض نادر الحدوث، مثل مرض

"كشينج" وداء "جيفز" ومرض "باجيت" وداء "أديسون" ومتلازمة "كون" ومتلازمة "برادر – لابارت – ويلى". وهناك أمراض أخرى شائعة، فمثلا تعانى ملايين النساء المتقدمات فى العمر من هشاشة العظام، وأيضًا ضعف العظام الذى قد يُصاحب المستويات المنخفضة لهرمون الإستروجين.

وأمراض السكرى تقتل أعدادا كبيرة من الناس، بحيث يمكن إدراجها ضمن الأسباب العشرة الرئيسية للموت فى الولايات المتحدة، والمعروف أن أعداد المصابين بهذا الداء تتضاعف كل خمسة عشر عامًا. وهو السبب الرئيسى للإصابة بالعمى فى الولايات المتحدة، علاوة على مضاعفات أخرى تشمل تلف الكلية والانسداد البصرى (المياه الزرقاء) والعطب القلبى والوعائى. والطب الجزيئى الحالى يُحاول حل هذه المتاعب، وذلك بتوفير الجزيئات الناقصة بحقن مرضى السكرى بأنسولين إضافى. ورغم فائدة هذا الأسلوب، فإنه لا يعالج المرض أو يوقف أعراضه تمامًا. ولكن فى عصر الجراحات الجزيئية، يمكن بدلا من ذلك للأطباء أن يختاروا إصلاح العضو التالف، بحيث يُنتج ما يلزمه من كيماويات بالضبط من جديد، وتضبيط الخواص الأيضية للخلايا الأخرى فى الجسم لكى تحذو حذوها. وسوف يكون ذلك شفاء حقيقيا وفعّالا وأفضل بكثير جدًا من العلاجات الجزئية الحالية.

الآن فقط، يُحرز الباحثون تقدمًا لمشكلة شائعة أخرى تتعلق بتنظيم الأيض، ألا وهى البدانة. وقديمًا كان يُعتقد أنَّ هناك سببًا بسيطًا لهذه المشكلة هو استهلاك سعرات حرارية بأكثر مما يحتاجه الجسم، وأنَّ لها نتيجة واحدة هى استدارة الجسم على نحو لا يفضِّله رياضيو اليوم، إلا أنه ثبت خطأ هذين الافتراضين. فالبدانة مشكلة طبية خطيرة تزيد من خطورة الإصابة بمرض السكرى المُزمن، والتهاب مفاصل العظام وأمراض تدهور القلب والشرايين والكليتين واحتمال العمر القصير. وقد ثبت أنَّ السبب المتصوَّر، وهو ببساطة كثرة الأكل، غير صحيح، وهذا شىء لطالما ظل الأطباء وخبراء

الحمية الغذائية يشكون فيه، حيث إنهم لاحظوا أشخاصًا نحفاء يلتهمون كميات كبيرة من الطعام ولكنهم لا يزدادون فى الوزن.

إنَّ القدرة على تخزين كميات من الدهن كانت ذات فائدة كبيرة للناس فى قديم الزمن، عندما كانت إمدادات الغذاء غير منتظمة، كما أن عصابات البدو وقطاع الطرق جعلوا تخزين الطعام أمرًا صعبًا وخطيرًا أيضًا، وكان الجوع فى ذلك الوقت سببًا من أسباب الموت. وأجسامنا ما زالت حتى الآن متكيفة مع هذا الأمر، ومن ثم، فإنها تنظِّم الدهن الزائد بها. وهذا هو السبب فى أنَّ اتباع الحمية الغذائية غالبًا ما يأتى بنتائج عكسية.

فالجسم عندما يتضور جوعًا، فإنه يستجيب بمحاولة تكوين احتياطيات كبيرة من الدهن فى أقرب فرصة مواتية لاحقًا. والتأثير الرئيسى لأنظمة إنقاص الوزن ليس هو حرق السعرات الموجودة، وإنما إرسال إشارة إلى الجسم ليكيِّف نفسه ويتعايش بشكل فعال.

ومن هنا، يبدو لنا أنَّ البدانة هى إطار من الإشارات الكيميائية داخل الجسم، وهى إشارات لتخزين الدهن تحسبًا للمجاعات أو ليصبح الجسم نحيلا ويتحرك بسهولة. الطب النانوى سوف يكون قادرًا على تنظيم تلك الإشارات فى مجارى الدم، وتعديل طريقة استجابة الخلايا المنفردة لها فى الجسم. والطريقة الأخيرة لعلها أيضًا تمكن "برنامج إنقاص الوزن الموضعى" المخادع أو المُحيِّر من إعادة شكل توزيع دهون الجسم.

وهناك، مثلما الحال مع تطبيقات كثيرة محتملة للتكنولوجيا النانوية، يحتمل حل المشكلة بوسائل أخرى أولا، غير أن بعض المشاكل سوف تحتاج بالطبع إلى الطب النانوى.

أعضاء وأطراف جديدة

حتى الآن، رأينا كيف أنّ التكنولوجيا النانوية الطبية سوف تُستخدم فى تطبيقات بسيطة خارج الأنسجة - مثل استخدامها فى الدم - ثم داخل الأنسجة، وأخيراً داخل الخلايا. وتأمل كيف تنسجم تلك الإمكانات مع بعضها بعضًا فى ضحايا حوادث السيارات والدراجات البخارية.

الأدوات الطبية المنتجة بالتكنولوجيا النانوية سوف تكون لها قيمة كبرى لأولئك الذين عانوا من إصابات خطيرة. خذ مثلا حالة المريض المصاب بكسر أو تهتك شديد فى الحبل الشوكى أعلى الظهر أو فى العنق. آخر الأبحاث تُعطى أملا بأن مثل أولئك المصابين أو المرضى لو عولجوا بسرعة عقب الإصابة، فمن الممكن أحيانًا تجنب الشلل ولو جزئيًا. أما أولئك الذين لم تعالج إصاباتهم - ويشمل ذلك تقريبًا كل مصابى اليوم - سيظلون مشلولين. وبينما تستمر الأبحاث التى تجرب تقنيات مختلفة فى محاولة لمساعدة الجسم على الشفاء الذاتى، فإنّ إمكانية معالجة هذا النوع من التلف بواسطة وسائل الطب التقليدية تظل متواضعة للغاية.

فى ظل التقنيات المذكورة أعلاه، سوف يكون من الممكن إزالة أنسجة متندبة وتوجيه عملية نمو الخلايا بحيث تنتج تجمعات صحية من الخلايا على المستوى المجهرى. وعند توفر الوخز والنخس لنواة الخلية، فحتى الخلايا العصبية من الأنواع الموجودة بالدماغ والحبل الشوكى يمكن حفزها على الانقسام. وعند تدمير الخلايا العصبية، فلن يكون هناك أى احتياج لنقص استبدالها. وتلك التقنيات سوف تمكّن الطب فى النهاية من شفاء الحبال الشوكية التالفة ومعالجة الشلل.

وسوف تكون القدرة على توجيه نمو وانقسام الخلايا وتوجيه عملية إعادة تنظيم الأنسجة كافية لإعادة إنماء أعضاء وأطراف كاملة، وليس فقط مجرد إصلاح التالف منها. وسيمكن ذلك الطب من استعادة الصحة البدنية للمرضى والمصابين مهما كانت شدة الإصابة وخطورتها.

وإذا كان من الصعب تصديق ذلك، فتذكر أنَّ التطورات الطبية فاجأت وأبهرت العالم من قبل. وبالنسبة إلى أولئك القدامى، لاشك أنَّ فكرة قطع جلد الناس بسكاكين دون حدوث ألم بدت لهم معجزة، ومع ذلك، فإنَّ التخدير الجراحى أصبح أمرًا عاديًا اليوم. وبالمثل مع الأمراض البكتيرية المعدية والمضادات الحيوية، ومع القضاء التام على الجدرى، ومع مصل شلل الأطفال.. كل منها هدأ من الرعب المميت، وكل منها أصبح الآن شبه منسى تاريخيًا. إنَّ حواسنا البدنية بما يبدو محتملا ليس له علاقة تذكر بما يتعين على التكنولوجيا الطبية عمله أو عدم عمله.. بل له علاقة أكبر بمخاوفنا المعتادة، بما فى ذلك الخوف من الآمال الوهمية. غير أنَّ ما يُدهش جيلا ما يبدو واضحًا بل ومملا للجيل الذى يليه. وأول طفل يولد بعد أى اكتشاف أو تقدم علمى كبير يكبر وهو يتعجب من كل هذه الإثارة والدهشة.

وعلاوة على ذلك، فإنَّ الأدوية النانوية الحجم لن تكون علاجًا شاملاً. خذ مثلا حالة رجل معاق عقليًا فى الخمسين من العمر، بينما عقله لا يزيد على عقل طفل فى الثانية من عمره.. أو حالة امرأة لديها ورم بدماغها، وانتشر إلى درجة أنَّ شخصيتها تغيرت.. تُرى كيف يمكن "علاج" أولئك الناس؟.. لا يوجد أى شفاء للأنسجة يمكنه أن يحل محل خبرة الإنسان المفقودة طيلة عمره، ولا أن يحل محل المعلومات المفقودة من جراء إصابة شديدة للدماغ. وأفضل الأشياء التى يمكن للأطباء عملها هو توصيل المرضى إلى حالة صحية بدنية سابقة "ما". وبالطبع يتمنى المرء ما هو أكثر من ذلك، ولكن ليس كل ما يتمناه المرء يُدركه.

طوال القرون الماضية، اختص الطب بالحفاظ على أداء الأنسجة لوظائفها، حيث إنه عند توقف وظيفة بعض الأنسجة، فإنها لا تستطيع الشفاء ذاتيا. ولكن مع الجراحات الجزيئية التى تنفذ الشفاء مباشرة، تتغير الأولويات الطبية تغيراً هائلا، بمعنى أنَّ الوظيفة لن تصبح مهمة للغاية. ففى الواقع، إن الطبيب الذى يمكنه استخدام الجراحة الجزيئية سوف يفضِّل إجراء الجراحة على نسيج مستقر بنيويا ولا يعمل أبدا، من أن يعمل على نسيج تُرك ليقوم بوظيفته بشكل خاطئ حتى دُمرت بنيته.

خذ حالة أورام الدماغ مثالا على ذلك، إذ إنها تدمر بنية الدماغ وتدمر معها مهارات المريض وقدراته وذكرياته وشخصيته. وأطباء المستقبل يجب أن يكونوا قادرين على إيقاف هذه الحالة فوراً، وذلك بإيقاف وظيفة الدماغ حتى يمكن تثبيت حالة المريض، حتى يمكن علاجه وهو فى حالة مستقرة.

التقنيات المتاحة حاليًا يمكنها إيقاف وظيفة الأنسجة، وفى الوقت نفسه، الحفاظ على بنية تلك الأنسجة. مثلا يقوم "جريج فاهى"، أثناء عمله فى حفظ الأعضاء بالصليب الأحمر الأمريكى، بتطوير تقنية لتزجيج(٧) كُلى حيوانية، وذلك بوضعها فى كأس غير بلورى منخفض درجة الحرارة، بهدف الحفاظ على بنيتها، بحيث إنه يمكن زرعها عقب عودتها إلى درجة حرارة الغرفة. وبعض تلك الكلى تم تبريدها إلى (-٣٠) مئوية ثم تدفئتها إلى درجة حرارة الغرفة، ثم تم زرعها وأدت وظائفها بشكل جيد.

وثمة الكثير من الإجراءات الأخرى التى تثبِّت الأنسجة على المدى الطويل. هذه الإجراءات تمكِّن خلايا كثيرة - ولكن ليس الأنسجة كلها - لكى تعيش وتتعافى بدون مساعدة خارجية، والأرجح أنَّ الإصلاحات الجزيئية المتقدِّمة وجراحات الخلية سوف تحدث تأثيراً قاطعًا بما يمكن الأنسجة والأعضاء للتعافى والشفاء. وعند تطبيق ذلك لتثبيت جسم المريض كله، تُسمَّى هذه الحالة "رُكود حيوى". والمريض الموجود فى حالة

(٧) أى التحويل إلى زجاج بواسطة الانصهار الحرارى. (المترجم)

ركود حيوى يمكن إبقاؤه فى تلك الحالة إلى أجل غير مُسمًّى حتى تتوفر له المساعدة الطبية اللازمة. ولذلك ففى المستقبل سوف تكون إجابة السؤال: "هل يمكن إعادة الصحة للمريض؟" كما يلى: "نعم، إذا كان دماغ المريض سليمًا، وأيضًا عقل المريض سليمًا".

الباحثة "ساندرا لى أدامسون" من جمعية الفضاء الوطنية تركز اهتمامها على الأهداف بعيدة المدى. واقتراح البعض أنَّ السفر إلى الفضاء سوف يحتاج إلى عدة أجيال، مما يحول دون قيام أى شخص على ظهر الأرض بالسفر فى رحلة فضائية. إلا أنها تقول إن الركود الحيوى سوف "يُعطى أملا فى هذا المجال لبعض المغامرين الجسورين الذين سيخاطرون باتخاذ حالة "التعليق" هذه ثم إعادة النشاط إليهم لاحقًا بحيث يرون النجوم بأعينهم عن كثب".

التأمين ضد الأوبئة

تبشرنا التكنولوجيا النانوية الطبية بتمديد مدة الحياة الصحية للناس، ولكن إذا التمسنا التاريخ دليلا لنا، فإنها قد تجنبنا أيضًا الوفيات المفاجئة بالجملة. وكلمة "وباء" نادرًا ما نسمعها الآن إلا فيما يتعلق بالإيدز، فهى عادة تذكرنا بالطاعون أو "الموت الأسود" الذى انتشر فى العصور الوسطى، حيث توفى ثلث سكان أوروبا، خلال الفترة ١٣٤٠ - ١٣٥٠ . كما ضربت إنفلونزا خطيرة جدًا العالم عام ١٩١٨ ولكن كادت أخبارها تندثر تحت وطأة أخبار الحرب العالمية الأولى.. مثلا كم منا يدرك أنها قتلت ٢٠ مليون شخص على الأقل؟ وغالبًا ما يتصرف الناس كما لو أنَّ الأوبئة اختفت تمامًا بدون رجعة.. كما لو أن التدابير الصحية والمضادات الحيوية قضت عليها تمامًا.

ولكن كما يقول الأطباء دائما لمرضاهم، فإنَّ المضادات الحيوية تقتل البكتيريا، ولكنها لا تُجدى نفعًا أمام الفيروسات. والإنفلونز ونوبات البرد المعتادة والقوباء والإيدز ليس لأى منها علاج فعال، لأنها كلها تنتج من إصابات بفيروسات. وفى بعض البلدان الأفريقية يُقدَّر أن حوالى ١٠٪ من السكان مصابين بفيروس نقص المناعة المكتسبة المسبب للإيدز. وبدون علاج سريع، فإنَّ المستقبل سوف يشهد زيادة كبيرة فى أعداد الوفيات الناجمة عن الإيدز يذكرنا دائمًا بأنَّ الأوبئة المروّعة لم تصبح تاريخًا طواه النسيان.

العلاج

الأمراض الجديدة مستمرة فى الظهور فى أيامنا هذه مثلما فعلت طوال التاريخ. وأعداد سكان العالم أكبر الآن من أى وقت مضى فى التاريخ، ومن ثمَّ تُشكّل أرضًا خصبة وفسيحة لانتشار تلك الأمراض.

منظومات ووسائل النقل الحالية يمكنها نشر الفيروسات من قارة إلى أخرى فى يوم واحد. ولكن عندما كانت السفن تبحر أو تشق طريقها عبر البحار، كان المسافر المصاب تظهر إصابته بالمرض، على الأرجح، قبل وصوله مما يسمح بخضوعه للحجر الصحى. غير أن بعض الأمراض الحالية من المؤكد أنها لا تظهر، خلال ساعات رحلة جوية واحدة.

وحتى وقتنا هذا، فإن كل سلالة حية من الكائنات، بدءًا من البكتيريا وانتهاءً بالحيتان، تُصاب بفيروسات. وبعض فيروسات الحيوانات "تقفز عبر ثغرة السلالات" لتصيب حيوانات أخرى أو حتى البشر. ويعتقد أكثر العلماء أنَّ أجداد فيروس الإيدز كانت تصيب حتى وقت قريب القرود الإفريقية فقط. وبعد ذلك قامت تلك الفيروسات

بالقفز ما بين السلالات. وقد حدثت قفزة مماثلة لذلك فى ستينيات القرن العشرين عندما مرض فجأة علماء فى ألمانيا الغربية، وهم يبحثون فى خلايا أخذت من قرود بأوغندا. أصيب العشرات منهم ومات الكثير من جراء الإصابة بمرض سبَّب جلطات دموية ونزيف، نتيجة الإصابة بما يُسمَّى الآن "فيروس ماربورج". تُرى ما الذى كان يمكن أن يحدث لو أن فيروس ماربورج انتشر من "عطسة واحدة" كالإنفلونزا أو نوبات البرد المعتادة؟

إننا نفكر فى الأوبئة البشرية بوصفها مشكلة صحية بسيطة، لكن عندما تصيب رفقاءنا من البشر، فإننا نميل لرؤيتها من منظور بيئى واسع. ففى أواخر الثمانينيات من القرن العشرين نفق فجأة أكثر من نصف تعداد فقمات الموانئ فى أجزاء كبيرة من بحر الشمال، مما دعا الكثيرين وقتئذ لإلقاء اللوم على التلوث. إلا أن السبب يبدو أنه فيروس شاذ قام بقفزة من الكلاب إلى سلالات أخرى. ويأسف علماء الحياة أن هذا الفيروس يمكنه إصابة سلالات الفقمات فى جميع أرجاء العالم، حيث إنَّ الفيروس الشاذ يمكن أن ينتشر فى الجو – وتحديدا بالسعال – كما أن الفقمات تعيش متلاصقة مع بعضها البعض. وحتى الآن بلغت معدلات الوفاة لها من ٦٠ – ٧٠٪.

لكن ماذا بشأن الإيدز: هل يمكنه التغيُّر واتخاذ شكل قابل للانتشار، كنوبات البرد مثلاً؟.. قال "هوارد و. تيمين" الحاصل على جائزة نوبل: "نستطيع أن نقول بكل ثقة إنَّ هذا لن يحدث أبدا". ورد عليه "جوشوا لديربيرج" رئيس جامعة روكفلار بمدينة نيويورك والحاصل على جائزة نوبل: "أنا لا أشاركك ثقتك هذه فيما يتعلق بما يمكن أن يحدث أو لا يحدث". ويُشير إلى أنه: "لا يوجد أى سبب لعدم ظهور وباء خطير من جديد.. إننا نعيش فى منافسة ثورية مع الميكروبات – البكتيريا والفيروسات.. ولا يوجد لدينا أى ضمان بأننا سوف نكون الناجين".

قدراتنا محدودة وغير كافية

الأمراض البكتيريا يمكن السيطرة عليها إلى حد كبير فى أيامنا هذه. فالتدابير والإجراءات الصحية السلمية تحد من الطرق التى يمكن أن تنتشر الأوبئة بها. والحقيقة أن تلك التدابير جيدة إلى حد كبير مما يوهمنا بتصوٌّر أن المشكلة قد حلّت تماماً.

الفيروسات أصبحت مألوفة بيننا، كما أنها تحدث لها طفرات وراثية.. وبعضها ينتشر فى الهواء، وبعضها مميت. وتبين لنا الأوبئة أنَّ الأمراض سريعة الانتشار يمكن أن تكون مميتة، غير أنَّ العقاقير الفعالة المضادة للفيروسات مازالت نادرة الوجود.

العلاجات الوحيدة الفعالة حقًا هى وقائية وليس شفائية! وهى تعمل إما بمنع التعرض للعدوى أو بتعريض الجسم مقدماً لأشكال ميتة أو ضعيفة أو غير ضارة من الفيروسات بهدف حفز الجهاز المناعى لأى تعرُّض مستقبلى لها. وكما يُظهر لنا الصراع الطويل مع فيروس الإيدز، فإنَّ المرء لا يمكنه الاعتماد على الأدوية الحديثة للتعرف على أى فيروس جديد وإنتاج مصل فعال خلال شهر أو سنة أو حتى خلال ١٠ سنوات مثلا. بيد أنَّ أوبئة الإنفلونزا تنتشر بسرعة، ولعل (ماربورج ٢) أو (الإيدز ٢) أو بعض الأوبئة الجديدة تماماً وربما المميتة تحذو حذوها.

تحقيق الأفضل

لعل الوفيات التى ستنجم عن الوباء المُهلك التالى بدأت بالفعل بقرية ما فى الأسبوع الماضى، أو ربما تبدأ فى العام القادم أو لمدة عام قبل أن نتعلم كيف نسيطر على المرض الفيروسى الجديد بسرعة وفعالية. ولو ابتسم الحظ لنا، فسوف ينتظر الوباء سنة أخرى بعد ذلك.

أجهزة المناعة يمكن ضبطها أو برمجتها بحيث تقتل أى فيروس جديد بمجرد تعرفها عليه. والأدوات التى تنتجها التكنولوجيا النانوية سوف تجعل عملية التعرف على الفيروسات سهلة. وفى يوم ما، سوف توضع تلك الوسيلة فى مكانها الصحيح لحماية حياة البشر من الكوارث الفيروسية.

وبدءًا من القضاء على الفيروسات وانتهاء بإصلاح الخلايا المنفردة، فإنّ سيطرتنا على عالم الجزيئات سوف تحسِّن من الرعاية الصحية. وأجهزة المناعة التى تعمل فى مجارى الدم، والتى تبدو معقَّدة كبعض المشروعات الهندسية التى أكملها البشر بالفعل، تبدو هنالك كأقمار صناعية ضخمة. لكن تبدو بعض أدوات التكنولوجيا النانوية الطبية الأخرى فى مستوى أعلى من التعقيد.

بخصوص حل المشاكل الصعبة

فى مكان ما فى التسلسل من أدوات مناعية بسيطة نسبيًا إلى الجراحة الجزيئية، نكون قد عبرنا الخط الدقيق الفاصل بين منظومات يمكن لفرق من مهندسى الطب الحيوى تصميمها فى فترة زمنية معقولة إلى منظومات تحتاج إلى عشرات السنين لتصميمها أو المعقدَّة بشكل لا يمكن تصوره. فتصميم جهاز نانوى قادر على دخول الخلية وقراءة حمضها النووى الريبى المنقوص الأكسجين (دنا) والعثور على تسلسل فيروسى مميت وقتله من (دنا)، ثم إعادة الخلية إلى طبيعتها سوف يعتبر عملا خارقًا. مثل هذه المهام هى تطبيقات متقدمة للتكنولوجيا، تتجاوز قدرة الحواسيب والمعدات والأجهزة الصناعية و"المواد الذكية" غير البارعة.

ولتحقيق النجاح فى غضون عدد محدود من السنوات، فلربما نحتاج إلى الكثير من العمليات الهندسية، بما فيها هندسة البرمجيات. واليوم، نجد أنّ أفضل المنظومات المتطورة غير قريبة بالمرة من الرقى أو التقدم المطلوب. البرمجيات يجب أن تكون قادرة على تطبيق المبادئ الفيزيائية والقواعد الهندسية والحسابات السريعة لخلق التصميمات الجديدة واختبارها. ولنسمّى ذلك "الهندسة المؤتمتة".

الهندسة المؤتمتة سوف تثبت فائدتها فى الطب النانوى المتقدم، وذلك بسبب العدد الكبير من المشاكل الصغيرة المراد حلها. وجسم الإنسان يحتوى على مئات الأنواع من الخلايا المكونة لعدد هائل من الأنسجة. ولو أخذناها ككل (وتجاهلنا الجهاز المناعى) نجد أنَّ الجسم يحتوى على مئات الآلاف من مختلف أنواع الجزيئات. وإجراء إصلاحات جزيئية معقَّدة للخلايا التالفة قد يتطلب حل الملايين من المشاكل المتكررة المنفصلة. وسوف تحتاج الآلات الجزيئية الموجودة بأدوات جراحة الخلايا سيطرة برمجيات معقَّدة عليها، ولعله من الأفضل أن تكون قادرة على إنابة مهمة كتابة البرمجيات لأى منظومة مؤتمتة. وحتى ذلك الوقت، أو حتى يتم إنجاز الكثير من التصميمات التقليدية، فسوف يحتاج الطب النانوى إلى التركيز على مشاكل أكثر بساطة.

الشيخوخة

تُرى أين نجد الشيخوخة على مقياس الصعوبة؟ إنَّ التدهور العام المصاحب للشيخوخة يُظهر نفسه عادة فى شكل مرض ما، وتحديداً مرض يُضعف الجسم ويجعله عُرضة للإصابة بأمراض أخرى. ومن هذا المنطلق، فإن الشيخوخة أمر طبيعى، كالجدرى والطاعون الدُّملى(8)، وبالتأكيد هى مميتة. ولكن بخلاف الطاعون الدملى، فإن الشيخوخة تنتج من قصور داخلى فى الأداء الجزيئى بالجسم، ومن الممكن أن تكون أى حالة طبية، ذات أعراض كثيرة مختلفة كهذه، معقدة.

ولكن المدهش أن هناك تقدمًا جوهريًا يحدث بالتقنيات الحالية، حتى بدون توفر أى قدرة بسيطة على إجراء جراحات للخلايا فى إطار طبى. ويعتقد بعض الباحثين أن

---

(8) مرض وبائى معدٍ يؤدى إلى الموت وينتقل من إنسان لآخر عن طريق لدغ البراغيث ويصاحبه قشعريرة وتقيؤ وإسهال وتكوّن الدمامل فى الجسم. (المترجم)

الشيخوخة تحدث فى الأساس نتيجة لعدد من العمليات التنظيمية، وأن الكثير من تلك العمليات ثبت بالفعل أنها قابلة للتغيير. فإذا كان ذلك هو الواقع، فإنَّ الشيخوخة يمكن التعامل معها بنجاح حتى قبل توفر إمكانية الإصلاح البسيط للخلايا. بيد أنَّ عملية الشيخوخة لدى الإنسان ليست مفهومة بما يكفى لعمل تصوُّر موثوق لها.. مثلا عدد تلك العمليات التنظيمية ليس معروفًا حتى الآن. وربما يتطلب الحل التام لهذا الأمر وجود طب متقدِّم معتمد على التكنولوجيا النانوية، وحينئذ نجد أنَّ الحل التام يبدو ممكنًا. وقد تكون النتيجة هى البقاء على قيد الحياة، لفترة أطول، وحياة أكثر صحَّة لأولئك الذين يريدون ذلك.

استعادة السلالات

توجد مشكلة معقَّدة ومُحيِّرة تتعلق بالطب (واستقرار السلالات) هى استعادة السلالات. واليوم يقوم الباحثون بعناية بحفظ عينات من سلالات أصبحت الآن منقرضة. وفى بعض تلك الحالات لا يتوفر لديهم سوى عينات من أنسجتها. ولكن بالنسبة إلى عينات أخرى، فقد تمكنوا من توفير بعض الخلايا الجرثومية بأمل أن يتمكنوا فى يوم ما من زراعة بيضات مخصبَّة فى السلالة المعنية وبهذه الطريقة يُعيدون - تقريبًا؟- تلك السلالة التى انقرضت إلى الحياة مرة أخرى.

كل خلية تحتوى عادة على المعلومات الوراثية الكاملة للكائن الحىّ. ولكن ما الذى يمكننا عمله بها؟ كثير من الباحثين يقومون الآن بجمع عينات من الخلايا لحفظها، معتقدين بإمكان تطبيق سيناريو زراعتها: وهو سيناريو أمكنهم تنفيذه بالفعل من قبل. بينما يتبع باحثون آخرون منطلقًا آخر أكثر رحابة، وذلك بمركز الموارد الجينية والوراثية بجامعة كوينزلاند، الذى يعتبر رائدًا فى هذا المجال البحثى. ويشرح "داريل إدموندسون"، منسق مكتبة الجينات، كيف أنَّ هذا المركز متميِّز لأنه سوف: "يجمع

البيانات بجدية ونشاط. أما أكثر المكتبات الأخرى فتجمع فقط مجموعات خاصة بها". ويصفها مديرها، "جون ماتيك" بأنها: "متحف اللوفر للجينات" ويقول إنه إذا لم يتم حفظ جينات من السلالات المهددة بالانقراض التى تعيش حاليًا: "فإنَّ الأجيال القادمة ستعرف أننا كانت لدينا التكنولوجيا اللازمة لحفظ برمجيات الحمض النووى الريبى المنقوص الأكسجين (دنا) وسيتساءلون لِمَ لم نفعل ذلك". وفى ظل توفر تلك المعلومات وأنواع الإصلاحات الجزيئية وإمكانات جراحة الخلايا التى شرحناها، فإنَّ السلالات المفقودة يمكن إعادتها يومًا ما إلى الحياة الطبيعية بعدما يتم استعادة بيئاتها الطبيعية المناسبة لها.

بيد أنَّ هذا المركز الوحيد ليس كافيًا، فمركز كوينزلاند يركّز على السلالات الأسترالية (وبالطبع هذا يكفى)، كما أن موارده المالية محدودة. وعلاوة على ذلك، أى شىء قيِّم مثل المعلومات الجينية لسلالات منقرضة يجب تخزينها فى أماكن كثيرة منفصلة لدواعى الأمان. إننا نحتاج إلى عمل وثيقة تأمين لكل أنواع الجينات الموجودة على كوكب الأرض، وتجهيز شبكة واسعة من مكتبات الجينات، وتوجيه اهتمام خاص لجمع عينات حيوية من الغابات المطيرة سريعة الاختفاء. والدراسات العلمية يمكنها أن تنتظر، ذلك أن خطورة الموقف وإلحاحه يتطلب تصرفًا سريعًا وفعالا. و"معهد فورسايت" يُشجِّع على بذل ذلك الجَهد من خلال مشروعه "الأرشيف الحيوى"، حيث يمكن للقراء المهتمين بالأمر الكتابة على العنوان المذكور فى نهاية الكلمة الختامية.

الفصل الحادى عشر

القيود والسلبيات

لعل ما تقدم من مناقشات حول التأثيرات الاقتصادية والطبية والبيئية المحتملة، أعطت القارئ انطباعًا خاطئًا بأنَّ التكنولوجيا النانوية سوف تخلق عالمًا مثاليًا مدهشًا يتم فيه حل كل مشاكل البشر، ونعيش فيه بسعادة دائمة إلى الأبد. بيد أن هذا الانطباع أكثر خطأ من فكرة أنَّ التكنولوجيات الجديدة دائمًا ما تخلق مشاكل أكثر من تلك التى تحلها. غير أنَّ الكثير من القيود والصعوبات التى تواجه الناس لا تنجم فى الحقيقة عن وجود أو عدم وجود تكنولوجيا، وإنما تنشأ بدلا من ذلك عن طبيعة العالم ذاته الذى نعيش فيه وعن أصل إنسانيتنا ذاتها ومصدرها.

إنَّ الوفرة المتزايدة المعتمدة على التصنيع الجزيئى لن تنهى المشاكل الاقتصادية بأكثر مما فعلت الزيادات الماضية فى الوفرة.. فالقفار والبرارى ما زال بالإمكان إزالتها.. والناس يمكن اضطهادهم.. والأسواق المالية يمكن أن تصبح غير مستقرة.. ويمكن شن حروب تجارية.. ومن المحتمل أن يزداد التضخم كثيرًا.. ويحتمل وقوع الأفراد والشركات والدول فى قبضة الديون.. ويمكن أن تخنق البيروقراطية الإبداع والابتكار.. ويمكن أن تصبح معدلات الضرائب مُعوِّقة.. ويمكن شن الحروب والهجمات الإرهابية.. لكن أى من هذا لن يتوقف من تلقاء نفسه بسبب أى تكنولوجيا متطورة.

وثمة ما هو أكثر من هذا، فالفوائد المحتملة للتكنولوجيات الجديدة ليس تلقائية.. فالتكنولوجيا النانوية "يمكن" استخدامها فى استعادة شباب ونضارة البيئة ونشر الثروة وعلاج معظم الأمراض.. ولكن هل "سيحدث" ذلك فعلاً؟.. إن ذلك يعتمد على أفعال الناس وأنشطتهم فى حدود القيود والضوابط التى يفرضها عالمنا الحقيقى.

يصف هذا الفصل أولا بعض القيود التى يمكن للتكنولوجيا النانوية فرضها، ثم يطرح بعض الآثار الجانبية السلبية لتطبيقاتها الجيدة أساسًا. أما الفصل التالى، فسوف يستعرض مشكلة الحوادث التى يبدو من الممكن التعامل معها، ثم المشكلة الأكثر خطورة الخاصة باحتمال انتهاك وإساءة استخدام الإمكانات الجديدة.

بعض قيود التكنولوجيا النانوية

يفرض العالم قيودًا على ما يمكننا عمله. والتكنولوجيا عمومًا (والتكنولوجيا النانوية خصوصًا) يمكن أن تزودنا بحشوات مرنة عندما نلقى بأنفسنا تجاه تلك القيود الحادة الصلبة.. بل يمكن أن تساعدنا أحيانًا على التسلل إلى ما وراء القيود القديمة من خلال ثغرات بها، لم تكن معروفة من قبل. وفى النهاية، سوف تقيِّد القيود الصلبة النشاط البشرى مهما كانت قدرتنا على التلاعب بالذرات والجزيئات، أو التلاعب ببتات وبايتات المعلومات. والآن لنلق نظرة على بعض تلك القيود، بادئين من الأجل النظرى والأشد بعدًا – وهو الأكثر تحديدًا والأصعب فى تجنبه – ثم نتحرك باتجاه الأكثر ذاتية وأقرب أجلا.

ضياع المعلومات

تختلف الكثير من المشاكل جوهريًا عن المشاكل المادية الخاصة بمحدودية المادة والطاقة: وذلك من حيث اشتمالها على المعلومات. واليوم نجد أن بعضًا من مخازن المعلومات الأكثر قيمة فى عالمنا هى الشفرات الوراثية للمحيط الحيوى.

وتُعتبر هذه المعلومات، والتى تختلف تقريبًا لكل كائن حىّ، نتاج ملايين من الأحداث التى لا نستطيع صياغتها أو إعادة خلقها. وعند ضياع تلك المعلومات فإنها

تفقد إلى الأبد. فعندما تتبعثر تمامًا الذرات التى تشفر تلك المعلومات، فليس ثمة أى طريقة لاستعادتها.

وبالنسبة لأى سلالة حية، فإنَّ معظم المعلومات الوراثية يشترك فيها - بصفة عامة- كل أفراد تلك السلالة. بيد أن الاختلافات فى الشفرة الوراثية بين فرد وآخر من السلالة بالغ الأهمية، سواء لأولئك الأفراد أنفسهم أو لصحة السلالة ككل ومستقبلها. خذ مثلا حالة الخرتيت الشمالى الأبيض، الذى تناقصت أعداده إلى حوالى ٣٢ حيوانًا، أو نسور كاليفورنيا الأمريكية الضخمة التى لم يبق منها سوى ٤٠ نسرًا جميعها فى الأسر. وحتى لو نجح علماء الأحياء فى استعادة عافية تلك السلالات إلى ما كانت عليه - فقد تم بالفعل فقس بيض ثمانية نسور ضخمة فى عام ١٩٨٩ - فإن غالبية معلوماتها الوراثية قد ضاعت تمامًا. وأسوأ من ذلك انقراض سلالات لم يتم حفظ أى عينات من أنسجتها. ولعل المستقبل يشهد بعض الاستعادات المدهشة لها، فالجلود والعظام الجافة قد تكشف لنا عن مجموعة كاملة من الجينات الوراثية عند فحصها بالأجهزة الجزيئية، فمثلا تم استخدام التقنيات الحالية لاستعادة جينات وراثية من ورقة شجرة قديمة يبلغ عمرها حوالى ٢٠ مليون عاما. إنَّ عيوننا وأدواتنا لا يمكنها أن تخبرنا كم قدر المعلومات الباقية لدينا من الماضى، بيد أننا لا نعرف بالطبع أنَّ المعلومات الوراثية تتبدد من بين أيدينا كل يوم، وأنها بمجرد ضياعها لا يمكن استعادتها أبدًا.

القيود المادية محض هراء

لطالما أخطأ الناس فى فهم القيود المادية، إذ خلطوا بين قيود تكنولوجياتهم والقيود الممكن وجودها. ونتيجة لذلك استبعد المثقفون أولا فكرة الطائرة الأخف من الهواء، ثم استبعدوا فكرة الانطلاق إلى القمر. غير أن القيود المادية حقيقية بالفعل، وكل التكنولوجيات - السابقة والحالية والمستقبلية - سوف تعمل دائمًا داخل نطاق تلك القيود. بل إنَّ هناك سببًا للاعتقاد أن بعض تلك القيود توجد فى المواطن التى يعتقد المثقفون بوجودها.

التكنولوجيا النانوية سوف تجعل من الممكن الاقتراب من القيود الفعلية التى يفرضها قانون الطبيعة، لكنها لن تغير تلك القوانين أو القيود التى تفرضها.. أى إنها لم تؤثر مثلا فى قانون الجاذبية وسرعة الضوء وشحنة الإلكترون ونصف قطر ذرة الهيدروجين وقيمة ثابت بلانك[١] وتأثيرات مبدأ اللا يقين[٢] ومبدأ الفعل الأقل[٣] وكتلة البروتون وقوانين الديناميكا الحرارية[٤] أو درجة غليان الماء. كما أن التكنولوجيا النانوية لن تخلق طاقة أو مادة من لا شىء.

يبدو أن هناك رهانًا جيدًا هو أن أحدًا لن يصنع أبدا مركبة فضاء أسرع من سرعة الضوء، أو جهازًا مضادًا للجاذبية، أو كابلا أقوى من الماس. هناك دائمًا قيود. والعلم الحالى قد يكون مخطئًا بشأن بعض القيود، إلا أن المعرفة العلمية تُعرف بوجه خاص بأنها أفضل ما نعرفه بشأن سير العالم من حولنا، لذا ليس من الحكمة أن يقف المرء ضدها.

سوف تُثار بالطبع مزاعم بأن التكنولوجيا النانوية يمكنها عمل أشياء ليس بمقدورها - بالفعل - عملها، أو أنها تتميز بإمكانات وشيكة أو فى المتناول على خلاف الحقيقة. وأحيانًا يكون ذلك مجرد أخطاء ساذجة أو تتم بحسن نية، وأحيانًا تكون أخطاء حمقاء تستوجب اللوم، وأحيانا تندرج تحت ما يسمى تضليل أو احتيال

---

(١) عبارة عن أصغر وحدة للطاقة (الجول) مضروبة بوحدة الزمن (الثانية). يمثل أصغر وحدة للشغل فى الكون. يلعب دورا فى السلوك الفيزيائى للمادة والطاقة. (المترجم)

(٢) فى نظرية الكم. ومفاده أنه لا يمكن تحديد خاصيتين مقاستين فى ميكانيكا الكم. إلا ضمن حدود معينة من الدقة. (المترجم)

(٣) عندما تتطور المنظومة، فإن حركتها تشكل مسارا فى فضاء الهيئة وذلك لأن الجسيم يكون له موقع وسرعة محددة فى فضاء الهيئة. ومع مرور الزمن يتغير موقعه وسرعته، وبالتالى ينتقل من نقطة إلى أخرى فى فضاء الهيئة. وينص مبدأ الفعل الأقل على أن المسار الحقيقى الذى تتحرك خلاله المنظومة هو المسار الذى يجعل لفعل معين، أقل قيمة ممكنة. (المترجم)

(٤) Laws of Thermodynamics قوانين الديناميكا الحرارية، هي ما يصف خاصيات وسلوك انتقال الحرارة وإنتاج الشغل سواء كان شغلا ديناميكيا حركيا أم شغلا كهربائيا من خلال عمليات ديناميكية حرارية. (المترجم)

أو تدليس. ومن بين المشاكل التى لا تستطيع التكنولوجيا النانوية حلها تلك المزاعم المُضللة التى يطلقها أناس يسمون أنفسهم "علماء" أو "مهندسين" أو "رجال أعمال" بأن لها نتائج وتداعيات تقنية لا تقدر بثمن. ولكن أى تكنولوجيا جديدة ذات ثقل، خصوصاً فى أيامها الأولى، تكون عبارة عن خليط مشوش من العاملين الجادين والدجالين. فأمام "توماس أديسون" الذى اخترع منتجات مفيدة مثل المصابيح الكهربائية أو أجهزة العرض السينمائى البدائية، كان هناك أناس يروجون لفرشات الشعر الكهربائية لعلاج الصلع، وأحذية كهربائية، وسيور كهربائية، وقبعات كهربائية – وتمتد هذه القائمة بلا نهاية – لقد زعموا بكثير من الثقة أنها تعالج العُقم وزيادة الوزن والنحافة وكل الأمراض والعلل ومنغصات الحياة. واليوم نحن نسخر من سذاجة أجدادنا الذين اشتروا تلك الأجهزة والأدوات.. ولكن لا يحق لنا ذلك إلا إذا ضحكنا من زمننا هذا أيضاً.

أعداد السكان

يفرض القانون الطبيعى قيوداً، ولكن هذا أيضًا ما تفعله الطبيعة البشرية.. وسوف يستمر هذا الحال ما دام البشر يمارسون أنشطتهم المعتادة.

التكاثر عبارة عن غريزة مغروسة فى البشر وتفرضها مسيرة الزمن.. وهى تتجاهل بلا رحمة المادة الوراثية لكل من يتجاهلها. ولعل البعض يزعمون أن الأرض أصبحت تكتظ بالسكان بالفعل. وبينما تمكن التكنولوجيا النانوية السكان الحاليين – وحتى الأعداد المتزايدة من السكان – من الحياة على الأرض بيسر، بيد أنه سوف تظل هناك دائمًا قيود على أعداد السكان، التى يمكن للأرض استيعابها.

وأنماط الحياة البشرية تتشكَّل دومًا وفقًا لأطر قديمة.. فمعدلات وفيات الأطفال العالية هى حقائق الحياة المستمرة منذ آلاف السنين، وقد كان إنجاب الكثير من الأطفال عادة قديمة لضمان بقاء واحد أو اثنين منهم على قيد الحياة للعمل فى حقل الأسرة وللعناية بالأبوين فى شيخوختهما. ومن الطبيعى أن الأسرة الكبيرة أصبحت

أمراً شائعاً. وعندما يُغيِّر الطب الحديث وإمدادات الطعام الموثوق بها من تلك الظروف – فهذا ما تفعله حقيقة "بين عشية وضحاها" بالتعبير الثقافى – فإنَّ السلوك لا يتغير بمثل تلك السرعة. والنتيجة هى زيادة هائلة فى تعداد سكان العالم الثالث. وفى الدول الغربية، حيث يتوفر وقت لتغيير السلوكيات، فإنَّ الأسرة الكثيرة العدد هى الاستثناء من القاعدة.

ولعله يبدو أن مشكلتنا هذه قد حُلت، فالتصنيع الجزيئى يمكنه أن يجعل الجميع أغنياء، والناس الأغنياء فى أيامنا هذه يتسمون بعدد سكان ثابت أو متناقص. كما أنَّ الأرض يمكنها استيعاب المزيد من الناس عند توفر تكنولوجيات متطورة، وسوف تستفيد تلك التكنولوجيات من المساحات الشاسعة والموارد الوفيرة بالعالم الموجود خارج الأرض.. ليت ذلك يتحقق بالفعل!

وإذا استجاب ٩٩ ٪ من عدد السكان للثروة بإنقاص معدلات إنجاب الأطفال، فإنَّ عدد السكان سوف يثبت أو يقل لبعض الوقت. غير أن السكان ليسوا متشابهين. فماذا بشأن الواحد فى المائة الباقين، مثلا، الذين هم قلة ضئيلة ولكن لهم قيم مختلفة؟.. فإذا كان لهذه القلة معدل زائد فى المواليد يبلغ مثلا ٥٠ ٪ عندئذ بعد ٩٥ عامًا سوف يصبحون أغلبية!.. وبعد ١٠٠٠ عام مثلا فإنَّ عددهم سوف يتضاعف بمقدار ١٥٠٠ بليون بليون مرة، مالم تتغير قيود الموارد أو تحدث إبادة جماعية. لاحظ أنَّ الهوتريين (Hutterites) بأمريكا الشمالية. وهم جماعة متديِّنة وغنية للغاية وترى أن إضعاف أو السيطرة على الخصوبة خطيئة والخصوبة العالية نعمة – فقد حافظوا دومًا على ولادة المرأة لعشرة أطفال فى المتوسط خلال فترة زمنية كافية أو مدة خصوبتها. ومع مرور وقت كافٍ، فإنَّ الزيادة الهائلة فى أعداد أى جماعة سكانية صغيرة يمكنها أن تستهلك كل الموارد المتاحة للحياة.

وعادة ما يعتبر حق المرء فى الإنجاب أمرًا مفروغا منه، وكمثال على ذلك، خذ حالة الغضب من تقارير الإجهاض القسرى بجمهورية الصين الشعبية. والهوتريون وكثيرون غيرهم يعتبرون ذلك جزءًا من حريتهم الدينية. ولكن ماذا يحدث عندما ينجب الزوجان

أطفالا بأكثر مما يمكنهما إعالتهم؟.. هل تحل إعادة التوزيع هذه المشكلة؟.. وما لم يتم كبح جماح التكاثر بالقوة، وإذا تكرر إعادة توزيع الموارد بالقوة بحيث يحصل كل إنسان على حصة متماثلة تقريبًا، فإنّ نصيب كل فرد سوف يتناقص باستمرار. وحتى فى ظل أفضل الافتراضات المتفائلة فيما يتعلق بالموارد المتاحة، وتنفيذ سياسة إعادة توزيع الموارد، فإنه فى حالة التكاثر غير المحدود، فإنّ ما يحصل عليه كل إنسان فى النهاية لن يكفى للإعاشة. هذه السياسة لابد من تجنبها، لأننا لو اتبعناها فسوف نموت جميعًا.

وبمجرد إقرارنا لكل كيان بحقوق معيَّنة - سواء كان هذا الكيان طفلا بشريًا أو حيوانًا أو حتى مخلوقًا آليا - فسرعان ما يبرز تساؤل مفاده: من المسؤول عن التزويد بالموارد لإعالة هذا الكيان ما دام لا يستطيع ذلك بنفسه. والمناقشة السابقة تدلنا على أن سياسة الإجبار التى تتبعها قوة مركزية ما، لإجبار السكان كلهم على زيادة إنجابهم بدون أى قيود، سوف تؤدى بالقطع وبشكل مباشر إلى كارثة. وأخيرًا، فإنّ المسؤولية يجب أن يتحملها موجد أو خالق هذا الكيان: أى مصمم الروبوت الآلى أو مالك الحيوان الأليف أو والد الطفل. وليست هناك أى تكنولوجيا جديدة يمكنها أن تزيل بشكل سحرى القيود التى يفرضها القانون الطبيعى، ومن ثم تعفى البشر من عبء المسؤولية.

الحلول تخلق مشاكل

فى كل مرة تحل تكنولوجيا ما إحدى المشاكل، فإنها تخلق مشاكل أخرى. لكن ذلك لا يعنى بالطبع أن التغيير سلبى أو لا قيمة له أو أنه تغير إلى الأسوأ. فمثلا لقاحات "سولك" و"سابين" لشلل الأطفال دمرت تقريبًا صناعة آلات التنفس القديمة، وأيضًا دمرت الآلة الحاسبة الصغيرة (المحمولة بالجيب) صناعة المسطرة المنزلقة.. بيد أن تلك التطورات كانت تستحق بعض الخسائر الاقتصادية.

والتصنيع الجزيئى والتكنولوجيا النانوية سوف يحدثان تطورات أو تغيرات أكبر من ذلك بكثير، مما يحمّلنا جهوداً أكبر بشأن قدراتنا على التكييف معها. وعلينا بالطبع ألا نندهش عندما تؤدى تطبيقات مفيدة أساساً إلى بؤس شخص ما. إنّ حياتنا تتمركز عموماً حول المشاكل التى نواجهها. فإذا أمكننا حل الكثير من تلك المشاكل، فسوف تتغير اهتماماتنا الحياتية مما يخلق - بالضرورة - مشاكل جديدة. ويستعرض هذا القسم بعض قضايا التغير والتكيف المرتبط به، بما يطرح المزيد من التساؤلات أكثر مما يطرح من الحلول.

التغير يُنتج مشاكل

التصنيع الجزيئى يطرح أمامنا إمكانية حدوث تغير جذرى.. تغير فى وسائل الإنتاج أكثر جوهرية وأهمية من استحداث أو ممارسة الصناعة أو الزراعة. فمؤسساتنا ومنظوماتنا الاقتصادية والاجتماعية قامت على تصورات وافتراضات لن تصبح سارية لاحقاً.

إذن، كيف سنتعامل مع التغيرات بالطريقة التى نعمل ونعيش بها؟.. إنّ التكنولوجيا النانوية سوف يكون لها تأثير واسع المدى فى مجالات كثيرة تشمل الأنماط الاقتصادية والاجتماعية والصناعية. فبماذا تخبرنا الأنماط التاريخية، فى ظروف مماثلة لتلك، عن المستقبل؟.

أى تكنولوجيا فعالة ذات تطبيقات واسعة تطلق ثورة فى حياتنا، والتكنولوجيا النانوية ليست استثناء من هذه القاعدة. وتبعاً لوجهة نظر المرء، فإنّ ذلك قد يبدو مثيراً ورائعاً أو يبدو مقلقاً ومريباً، ولكنه بكل تأكيد لم يبد مريحاً للجميع.

ولكن بالمقارنة بتوقعات كثيرة فى القرن الحادى والعشرين، فإن التكنولوجيا النانوية قد تفضى إلى تغير مريح نسبياً. فالتغيرات التى كان يتم التنبؤ بها عادة

- للمستقبل الذى لا يتضمن التكنولوجيا النانوية - كانت تتناول الكوارث البيئية وقلة الموارد الطبيعية والكساد والاقتصاد والعودة من جديد إلى الفقر والبؤس. ونشأة التكنولوجيا النانوية تطرح بديلا لذلك - الثروة الخضراء المتجدِّدة - غير أن هذا البديل سوف يواكبه تغيرات كبرى عن الأنماط السائدة فى العقود الزمنية الحالية.

أوقات التغيرات التكنولوجية السريعة عادة ما تكون محبطة. ففى أكثر عصور الوجود البشرى، عاش الناس فى أنماط مستقرة.. وتعلموا كيف يعيشون كما كان يعيش آباؤهم - بممارسة الصيد والتجمع مع بعضهم البعض، ثم بعد ذلك بالزراعة - وكانت التغيرات صغيرة وتدريجية. والواقع أن معرفة الماضى هى الدليل الذى نعتمد عليه لشق طريقنا فى المستقبل.

عندما حدثت التغيرات المفاجئة كانت ميالة، لأن تكون اجتياحات مدمرة أو كوارث طبيعية مهلكة. واضطر الناس إلى محاربة أو إصلاح تلك التغيرات المفاجئة أو التعايش معها بأفضل ما يمكنهم من جهد. وكان من النادر حدوث تغيرات كبرى بالصدفة.. أما الاستحداثات والاكتشافات فكانت أسوأ من ذلك، فقد ضمنت الطرق القديمة بقاء أجدادنا على قيد الحياة، أما الطرق الجديدة فربما لا تحقق ذلك. وأدى هذا إلى أن أصبحت الحضارات محافظة وتقليدية.

ومن الطبيعى وجود جهود لمقاومة التغير، ولكن قبل الالتزام بهذا التأثير من المفيد أو المناسب أن نتفحص سجل ما يمكننا عمله ومالا يمكننا عمله. والأمثلة الوحيدة للكيانات التى قاومت التغير بنجاح كانت هى المجتمعات التى خلقت، وأبقت على، الحواجز لعزل نفسها عن العالم الخارجى اجتماعيًا وثقافيًا وتكنولوجيا. وطوال قرنين قبل عام ١٨٥٤ أدارت اليابان ظهرها للعالم الخارجى، إثر اتباع سياسة متعمدة للعزلة. وقيَّد قادة ألبانيا الاتصالات لسنوات طويلة.. ولم يبدأوا الانفتاح على الخارج إلا مؤخرًا.

كانت أفضل نتائج لمحاولات العزلة، عندما كانت تتم على نطاق ضيق، وعندما كانت المشاركة فيها طوعية وليست مفروضة بأمر حكومى. واليوم فى حدود سلسلة جزر هاواى، فإن جزيرة "نيهاو" الصغيرة التى تملكها شركة خاصة ويصل طولها إلى ١٦ ميلا وعرضها إلى ٦ أميال، مازالت حتى الآن تعمل بوصفها محمية تعيش بنمط الحياة الذى كان سائدًا فى القرن التاسع عشر بجزر هاواى. ويتحدث أكثر من ٢٠٠ شخص من الهاوايين الأصليين لغة هاواى ولا يستخدمون أى هواتف أو مواسير سباكة أو تلفازات ولايستخدمون أى كهرباء إلا فى المدارس فقط. وليس لدى "الأميسشيون" Amish من بنسلفانيا أى محيط حولهم لمساعدتهم على العزلة، وبدلا من ذلك فإنهم يلجأون إلى اتباع قواعد اجتماعية ودينية وتكنولوجية صارمة تهدف إلى إبقاء التكنولوجيات والحضارات الخارجية بعيدًا، بينما يجمِّعون أنفسهم ويستبعدون أولئك الذين يرفضون هذا التجمع.

وعلى المستوى الوطنى، لم تنجح بالمرة محاولات الحصول على جزء واحد من الغنيمة، سواء كانت اجتماعية أو تكنولوجية، فطوال عقود من الزمن رحّب الاتحاد السوفييتى ودول الكتلة الشرقية بالتكنولوجيا النانوية، لكنهم حاولوا فرض حظر شديد على مرور الناس والأفكار والسلع والبضائع. غير أن الموسيقى والأفكار والآداب والمعارف الأخرى غير القانونية وجدت طريقها إلى الداخل، مثلما يحدث فى الدول الإسلامية.

لم تحقق مقاومة التغير التكنولوجى فى المجتمع على نطاق واسع نجاحًا يُذكر، عندما حقق هذا التغير لجماعة كبيرة نوعًا ما أهدافها. فمثلا كان أكثر المقاومين الشهيرين للتغير التكنولوجى – وهم محطمو الأجهزة أو اللوديتيون Luddites – غير ناجحين بهذا الصدد.. فقد حطموا أجهزة النسيج الآلية التى كانت تحل محل الأنوال اليدوية القديمة، أثناء الثورة الصناعية الأولى بإنجلترا. بيد أن الناس كانوا يريدون ملابس رخيصة، ولذلك، كان من جراء تحطيم المعدات فى مكان ما أنها انتقلت إلى

مكان آخر. غير أن التغير أمكن أحيانًا تأجيله أو تعطيله فقط، مثلما حدث لجماعة لاحقة نشطت تحت راية "كابتن سوينج"، عندما حطمت مئات من آلات درس الحبوب وبذور النباتات بمنطقة واسعة جنوب إنجلترا فى عام ١٨٣٠، ونجح أفراد تلك الجماعة فى استمرار أساليب الإنتاج القديمة كثيفة العمالة فى درس الحبوب لمدة جيل كامل.

فى قرون سبقت ذلك، عندما كان العالم أقل ارتباطًا ببعضه البعض بالتجارة العالمية والاتصالات الدولية والنقل العالمى، وكان من السهل تأجيل التغير لسنوات أو عقود من خلال اتباع العُنف أو المناورات القانونية مثل التعاريف الجمركية والحواجز التجارية واللوائح التنظيمية أو الحظر المباشر. ومحاولة تعطيل أو إيقاف التغير تعد أقل نجاحًا فى الوقت الحاضر حيث تتحرك التكنولوجيا عالميًا بالسهولة نفسها التى ينتقل بها الناس.. والانتقال البشرى سهل جداً الآن لدرجة أنَّ ٢٥ مليون شخص يعبرون المحيط الأطلنطى كل عام. ويجد مقاومو التغير أنَّ المشاكل التى يخلقونها تتزايد مع مرور الزمن، فالمنتجات التى يتم إنتاجها بآلات قديمة وتقنيات عالية التكلفة لا تصمد أمام منافسة المنتجات الأخرى. وليست هناك طريقة لإرجاع الوظائف القديمة، إذ لم يعد هناك منطق يبررها. غير أن العادات والسلوكيات القديمة "تموت بعد نضال مرير"، ولذلك تستمر ردود الأفعال فى وجه التغير التكنولوجى حتى يومنا هذا، وتحديداً تجاهله وإنكاره ومقاومته. والمجتمعات التى قاومت التغير، مثلما فعلت بريطانيا، تأخر تقدمها الذى شابه جو ضبابى من الفحم.

لكن تُرى لماذا كان رد فعل اللوديتيون (محطمو الآلات والأجهزة) عنيفًا؟.. لعل رد فعلهم يعزى إلى ثلاثة عوامل: الأول، كان هذا التغير فى حياتهم مفاجئًا لهم، وثانيا، أثر التغير بشكل واسع على عدد كبير من الناس فى وقت واحد ومكان واحد، وثالثًا، فى عالم غير مستعد للتغير التكنولوجى السريع لم تكن هناك مظلة أمان تغطى أو تؤمن العاطلين. وبينما كانت الاقتصاديات المحلية قادرة على استيعاب القليل من العمال

الجائعين المسرحين من عملهم، فقد افتقرت إلى السعة والتعددية اللازمتين لطرح خيارات عمل سريعة أخرى، لأعداد كبيرة من العاطلين.

ولكن فى القرن العشرين، أصبحت المجتمعات بالضرورة ذات قدرة أفضل على التكيف والتأقلم مع التغير. وقد أصبح هذا الأمر ضرورياً لأن المجتمعات المتخلفة والكسولة تأخرت. وفى عصر الاستقرار الزراعى القديم، لم تكن ثمة حاجة لوجود مؤسسات مثل "تقارير المستهلكين" لدراسة المنتجات الجديدة وتقييمها، أو وكالات ومنظمات مثل وكالة حماية البيئة للنظر فى أى مخاطر جديدة. فقد تطورت احتياجاتنا مثلما تطورت مؤسساتنا. وتجسدّ تلك الآليات تكيفات هامة، ليس كثيراً مع تكنولوجيات القرن العشرين، ولكن مع التغير المتزايد للتكنولوجيا خلال القرن العشرين. وثمة متسع كبير للتطور، يمكن أن يوفر أحياناً الأساس للتأقلم مع القرن التالى أيضاً.

ولكن حتى فى وجود أفضل المؤسسات التى تمتص الصدمات وتحول دون الانتهاكات وسوء الاستخدام، فسوف تكون هناك مشاكل. ونفس عمليات حل مشاكل الإنتاج - المتزايد الثراء - سوف تخلق مشاكل فى التغير الإقتصادى.

الإنتاج اللامركزى النظيف يخلق مشاكل

بدا أنّ الاتجاه السائد عبر القرون هو الميل تجاه المركزية، بدءًا من إنشاء المصانع والمدن الصناعية. وقد دفع إلى تلك التطورات التكلفة العالية للمعدات وتشغيل المصانع والاحتياج إلى القرب من مصادر القوى المحركة وعدم جدوى النقل ما بين كثير من المواقع الصغيرة المنتشرة والحاجة إلى إتمام الاتصالات وجهاً لوجه.

بدءًا بالثورة الصناعية الأولى، استخدمت المصانع أعداداً كبيرة من الناس فى مكان واحد مما تسبب فى الازدحام وجعل الاقتصاديات المحلية تعتمد على صناعة واحدة وأحياناً على شركة واحدة. وتطلب استخدام معدات غالية الثمن وجود مواقع

مركزية لإنتاج المنسوجات، وليس الصناعات العائلية الصغيرة، حيث يمكن لامرأة واحدة كسب قوتها بتمشيط الصوف وعمل خيوط بعجلة غزل دوّارة (وهذا هو أصل التعبير "غزالة"). وقبل نهاية ثلاثينيات القرن العشرين أفضى الإيمان بفوائد وقيم المركزية والتخطيط المركزى - الكفاءات المتوقعة من الاقتصاديات الضخمة - إلى تجريب قومى أو قارى للمركزية. ولكن طوال العقد الماضى تم التغاضى عن تلك التجارب واسعة النطاق، من الخصخصة البريطانية للمرافق القومية إلى بداية العودة إلى نظام السوق بدول أوروبا الشرقية.

وبسبب انخفاض القيود والحدود القديمة على النقل ومصادر الطاقة والاتصالات، أصبحت الأعمال التجارية والصناعية فى الوقت الحاضر لا مركزية. وبين عامىّ ١٩٨١، ١٩٨٦ خفضت ٥٠٠ شركة تابعة لـ "فوربس" موظفيها وعمالها بما يصل إلى ١,٨ مليون شخص. ولكن خلال نفس تلك السنوات زاد إجمالى الوظائف المدنية بمقدار ٩,٢ مليون فرصة عمل. وخلقت الشركات الناشئة ١٤ مليون فرصة عمل، بينما خلقت الشركات الصغيرة ٤,٥ مليون فرصة أخرى. وفى الوقت الحاضر، تزدهر باضطراد صناعة الاتصال من بعد الأعمال فى شكل شركات جديدة ومهنيين مستقلين وصناعات عائلية أو فردية.

رأينا أيضًا كيف ظهرت فجأة متاجر صغيرة ولكن متباينة تمامًا، مثل محال الأكلات المميزة ومتاجر عرقية خاصة ومتاجر بيع الشاى والقهوة ومحال الأغذية العضوية والصحية والمخابز ومحال بيع الزبادى ومحال أنواع الجيلاتى الممتازة والمتاجر الكبرى التى تستقبل الزبائن ٢٤ ساعة يوميًا ومحال بيع معلبات الأغذية والوجبات الجاهزة. وتمثل تلك المتاجر شيئًا هامًا للغاية: ففى وقت ما يكون ما نريده ليس طعامًا نمطيًا بسعر رخيص، وإنما أغذية خاصة متنوعة ومخصوصة لمواجهة احتياجاتنا وأذواقنا الفردية المختلفة.

ويبدو أنَّ الاتجاه العام المقترن بالتكنولوجيات المتطورة يأخذنا بعيداً عن المركزية تُرى هل ستعارض التكنولوجيا النانوية أو تسرّع من هذا الاتجاه؟.. من خلال تقليل تكلفة المعدات، وتقليل الحاجة إلى أعداد كبيرة من الناس لإنتاج منتج واحد، وتدبير قدرة كبيرة على تجهيز السلع كما يريدها الناس، فالأرجح أن التكنولوجيا النانوية سوف تواصل النمط الذى كان سائداً فى القرن العشرين باتجاه اللا مركزية.. غير أن النتائج سوف تكون تقويض الأنشطة التجارية والصناعية الموجودة.

لعل صناعة الحواسيب تقدم لنا مؤشراً على ما يمكن حدوثه فى المستقبل بعدما تقلل التكنولوجيا النانوية من التكاليف. وتتميز صناعة البرمجيات الحاسوبية بتأسيس مشروعات صغيرة منزلية. فعندما تكون معداتك رخيصة - إذ تم صنع حواسيب شخصية قليلة التكلفة - ويمكنك صنع منتج ما بتوفير بعض القدرات المبدعة وعمالة بشرية ومن ثم البدء فى أى صناعة جديدة برأسمال صغير.

فى عام ١٩٠٠، عندما كانت السيارات بسيطة التركيب، كان عدد شركات إنتاج السيارات محدوداً. وقبل نهاية ثمانينيات القرن العشرين. ما لم تكن عملاقًا صناعيا مثل شركات "جنرال موتورز" أو "فورد" أو "هوندا" أو "نيسان"، فلابد أن تكون رجلا أسطورياً أو بليونيراً حتى يمكنك تدبير رأسمال يمكنك من البدء فى هذه الصناعة. وإذا تمكن التصنيع الجزيئى من خفض التكلفة الرأسمالية لإنتاج السيارات أو المعدات المعقدة الأخرى التى تنتجها المصانع، فسوف نشهد بزوغ نظير المشروعات المنزلية الصغيرة بحيث تطرح منتجات جديدة وتشغل عمالا بعيداً عن عمالقة الصناعة الحاليين، مثلما قوّض تماماً الحاسوب الشخصى سيطرة الحواسيب الضخمة.

إن حلم الأمريكى هو أن يكون مقاولا أو متعهداً للخدمات والأعمال، واتجهت الأنماط التكنولوجية للقرن العشرين فى هذا الاتجاه بالفعل. والأرجح أن التكنولوجيا النانوية سوف تواصل هذا الاتجاه.

ولكن فى مجال واحد مازال النمط الذى ساد فى أواخر القرن العشرين هو "الاتساق". وفى الوقت الحاضر، نجد أن دول أوروبا الغربية تسير فى طريق الاتحاد فى ظل مجموعة من القواعد الاقتصادية، كما أنَّ أجزاء من أوروبا الشرقية تتوق للحاق بهم والانضمام إليهم. والواقع أنَّ المؤسسات والمنظمات الدولية والتى تتخطى الحدود الدولية تربط العالم كله ببعضه البعض. وقد أدى نمو التجارة الدولية إلى تشجيع وحفز التكامل الاقتصادى للبشر.

وسوف يعمل التصنيع الجزيئى ضد هذا الاتجاه أيضًا، بما يسمح باستخدام لامركزية جوهرية فى الاصطلاحات الاقتصادية. وسوف يساعد ذلك الجماعات التى تريد أن تتخذ مسارًا مخالفًا لاتجاه التغير العام، ويمكنهم ذلك من أن يصحبوا أكثر استقلالا عن العالم الخارجى المتقلب، واختيار تطبيق التكنولوجيات التى يستخدمونها. لكنها ستساعد أيضًا الجماعات التى تريد تحرير نفسها من القيود والضوابط التى يفرضها المجتمع الدولى. ولن يكون للعقوبات الاقتصادية تأثير كبير ضد الدول التى لا تريد الاستيراد أو التصدير للحفاظ على مستوى عالٍ للمعيشة. كذلك فإنَّ قيود التصدير لن يكون لها تأثير ذو شأن فى إعاقة التطور العسكرى.

وبإضعاف الروابط التجارية، فإن التصنيع الجزيئى يهدد بإضعاف الرابطة التى تربط الدول ببعضها بعضًا. ولكننا بحاجة لهذه الرابطة للتعامل مع قضايا تقييد التسليح التى يثيرها التصنيع الجزيئى ذاته. ولعل هذه المشكلة، التى يثيرها إمكان تطبيق اللا مركزية، تلوح بقوة فى السنوات القادمة.

حتى الثروة والرفاهية يسببان مشاكل

يلاحظ "لستر ميلبراث"، أستاذ علم الاجتماع والعلوم السياسية، أنَّ "التكنولوجيا النانوية سوف تخلق مشكلة كيفية شغل وقت الناس غير المضطرين للعمل الشاق؛ بغية توفير ما يكفى من سبل حياتهم، وذلك بشكل مستدام وله معنى. إنَّ مجتمعنا لم يواجه قط هذه المشكلة من قبل، وليس من الواضح ما هى الترتيبات وإعادة التنظيمات اللازمة لإيجاد مجتمع سليم فى تلك الظروف. إننا نواجه بعمق قضية التعلم الاجتماعى".

إنَّ العالم لم يمارس بشكل يُذكر مايسميه علماء الإنسان "اقتصاديات الوفرة". وكانت القبائل الأمريكية الأصلية فى المناطق جنوب غرب المحيط الهادى واحدة من تلك الحالات النادرة. وتقول "روث بنيديكت" فى كتابها الكلاسيكى" أنماط وأشكال الثقافة": "لقد اعتمدت حضارتهم على وفرة هائلة من السلع التى لا تنتهى، وقد حصلت عليها بدون بذل جهد هائل". وحقق "الكواكيتليون kwakiutls" الشهرة بسبب مهرجاناتهم لتوزيع الهدايا، حيث كانت تجرى مسابقات يحاولون فيها جعل منافسيهم يشعرون بالخزىً من جراء إعطائهم الكثير من الهدايا التى لا يمكنهم ردها. كان يتم التجهيز لتلك المهرجانات طوال العام، وكانت تستمر أيامًا، وفى بعض الأحيان، كان يتم فيها تدمير مبان كاملة. وكان ذلك بلا شك نمط نابض بالحياة لمسايرة أقرانهم.

تُرى ما الذى سوف يحفزنا إلى العمل بمجرد تحقيق اقتصاد الوفرة؟.. وما الذى سنعتبره أهدافًا مهمة يتعيَّن تحقيقها؟.. هل هى مثلا زيادة المعرفة والمعلومات، أو فن جديد، أو فلسفة متطورة، أو القضاء على الأمراض والشرور البشرية والدنيوية؟.. هل سنجد أنفسنا نخلق عالمًا أفضل وأعقل أم ننزلق إلى متاهات اللامبالاة والملل، بمجرد توفر كل شىء لنا بحيث لا يتبقى شىء نريده؟.. وإذا انتشرت اللامبالاة والملل، فإن المشهد النابض بالحياة للمانحين والمتبرغين الأثرياء، الذين يريدون التفوق على بعضهم البعض فى مجالات دعم الفنون ومساعدة الفقراء والقيام بالأعمال الجيدة والخيرية الأخرى، من أجل ارتفاع مكانتهم، سوف يكون مرحبًا بهم.

وما الذى سيحدث عندما يتسع مدى الحياة وتطول، ويقل الوقت اللازم للمرء لكسب لقمة العيش؟.. كل يوم ثمة أناس، عندما تواجههم فكرة الأعمار الطويلة للغاية يدعون أنهم لا يتصورون ما سيفعلونه فى كل هذا العمر. والحقيقة أنه من الصعب فهم تلك الاستجابة عندما تحتاج لنحو ألف عام، لكى تسير فى كل طرق العالم، وتحتاج إلى آلاف أكثر من السنوات لقراءة كل كتب العالم، وعشر سنوات أخرى لكى تحجز الغذاء لك مع كل واحد من سكان الكوكب.. غير أنَّ الأنواق تختلف، ولعل بضعة عقود من مشاهدة برامج التلفاز الرديئة تدفع المرء للحنين إلى سكينة القبر!

تغيير التوظيف يسبب مشاكل

ثمة قلق رئيسى، وبالتأكيد المجال الوحيد الذى يتسم بأكبر اضطراب، ويسبب أشد معاناة، هو التوظيف (والذى سيصبح فيما بعد من الصعب تمييزه عن الرفاهية). وحدث ذات مرة أنه كان أمام الناس فرص قليلة للتوظيف والعمل.. ولكى يسدوا رمقهم اضطر معظمهم إلى الانخراط فى العمل الوحيد المتاح أمامهم: فلاحة الأرض. وأخيراً فى النهاية، سوف يكون أمام كل الناس فرصًا كاملة للتوظيف بما يمكنهم من ملء بطونهم الخاوية والتمتع بالحياة الرغدة، وفى الوقت نفسه، ممارسة ما يريدون من أعمال. أما اليوم، فنحن نقف فى منتصف الطريق بين هذين الموقفين المتطرفين. وفى الاقتصاديات المتقدمة، تعتبر أعمال كثيرة مفيدة بما يكفى، بحيث تدفع أشخاصًا آخرين لتقديم عائد كافٍ مقابل ما تحققه. وبعض الناس يكسبون رزقهم بممارسة العمل الذى يتمتعون به، فهل هذا عمل أم فراغ؟

وسوف يتوقف أثر التكنولوجيا النانوية على أنماط وأشكال التوظيف على الزمن الذى سوف يحدث فيه ذلك. وتبين الدراسات الإحصائية الحالية تناقصًا فى التحاق الشباب الغض بمجالات العمل المتباينة. فالزراعة وخطوط تجميع المنتجات بالمصانع

والوظائف الخدمية البسيطة تعانى من نقص العمالة، ولا يبدو أن هناك فرجًا وشيكًا لهذا الموقف. وإذا استمرت تلك الاتجاهات، فلعل التكنولوجيا النانوية سوف تظهر وسط نقص الأيدى العاملة. أما إذا وصلت بعد ذلك بكثير، فربما تتنافس مع صناعات تكاد تقترب وقتئذ تمامًا من الميكنة أو الأتمتة الكاملة.. حيث يعنى التعبير "إحلال وظيفى" استبدال برويوت صناعى جهاز نانوى.

لقد تغيرت أنماط وأشكال التوظيف والعمل جوهريًا فى الماضى. فمنذ مئة وخمسين عامًا مضت كانت الولايات المتحدة دولة زراعية، حيث عمل ٦٩٪ من الناس فى فلاحة الأرض، وانخرطت نسبة مئوية متزايدة فى الصناعة وأدت أعمالا مثل صنع القاطرات البخارية لشركة قاطرات "بالدوين" أو دبغ الجلود لشركة الجلود المركزية الاحتكارية. وفى أوائل القرن العشرين بدأت الزراعة تعانى تناقص الأيدى العاملة بها وفى الوقت نفسه من زيادة إنتاجيتها، حيث اتجه معظم الناس للعمل بالصناعة، وبدأ قطاع المعلومات والخدمات الصغير فى النمو. واليوم انعكست تلك الصورة، حيث يمارس نحو ٦٩٪ من الأمريكيين وظائف المعلومات والخدمات، بينما يعمل ٢٨٪ منهم فى الإنتاج الصناعى، و٣٪ منهم فى الزراعة. وهذه النسبة الضئيلة تقدم الغذاء لنحو ٩٧٪ من الأمريكيين وتصدر بكثافة إلى الدول الأخرى، وتتلقى إعانات ومبالغ لدعم الأسعار وذلك لكبح جماحها عن إنتاج المزيد من الغذاء. وبالنسبة إلى الصناعة، وحتى بدون التكنولوجيا النانوية، فيبدو أنها تتجه اتجاهًا مماثلا.

ومع استمرار تناقص النسبة المئوية لأعداد السكان العاملين بالصناعة، فإننا سوف نحصل يوميا على منتجات لم تكن تتوفر من قبل إلا للملوك والنبلاء والعظماء. غير أن امتلاك الكثير من أطقم الملابس، والحصول على صور شخصية لأنفسنا وأفراد أسرتنا.. ووجود موسيقى متاحة لنا فى أى وقت، وحجرة نوم خاصة لكل منا، وسيارة تنتظر أوامرنا.. كل تلك الأشياء تعتبر فى الوقت الحاضر من الضروريات الأساسية للحياة. ولعله يصبح من الممكن التكيُّف مع ثروة أكبر وفى الوقت نفسه بذل جهد أقل،

غير أن هذا التكيف سوف يسبب مشاكل. وفى عالم تقلل فيه التكنولوجيا النانوية الحاجة إلى عمال فى الصناعة والزراعة بشكل كبير، سوف يكون السؤال هو: "ما الوظائف المتبقية لكى يقوم بها الناس بعد أن يصبح الغذاء والملابس والمساكن رخيصاً للغاية؟"

من جديد أعطانا القرن العشرون بعض المؤشرات. ولأن التكنولوجيا قللت التكاليف من خلال رفع الكفاءة وإنتاج أعداد كبيرة من الأصناف المتماثلة، بدأ الناس يطلبون صنع منتجات بأشكال وخصائص معيّنة بحيث تناسب احتياجات الكثيرين وأنواقهم. ونتيجة لذلك ازدادت وظائف صنع السلع والمنتجات بناء على طلبات الناس الخاصة. والآن انتشرت السلع والمنتجات التى تفى ببعض متطلبات الناس وأذواقهم، مثل الملابس المعدَّلة والملابس الجاهزة المسايرة للموضة وأدوات التجميل والسيارات مركبات التنزه والترفيه المتنقلة والأثاث والأبسطة والأحذية والتلفازات واللعب والمعدات والأجهزة الرياضية والغسالات والأفران الميكروويف وأجهزة معالجة الغذاء ومحمصات الخبز وجهاز صنع المكرونة والحواسيب المنزلية والهواتف التى تسجل المكالمات الواردة.. وأصبحت كلها متاحة بأعداد كبيرة وأنواع متباينة دائمة التغيُّر.

ويماثل ذلك فى التنوع تلك الثروة الهائلة والتعدد الذى تتسم به المعلومات التى نتجت فى القرن العشرين. ومنتجات المعلومات عنصر كبير فى الاقتصاد، إذ يشترى الأمريكيون ٢.٥ بليون كتاب و٦ بلايين مجلة و٢٠ بليون جريدة سنوياً. وفى السنوات الأخيرة، تم ابتكار وإصدار مجلات جديدة بمعدّل واحدة كل يوم عمل سنوياً. ولو قمت بزيارة لمتجر به أرفف ممتلئة بالمجلات المرصوصة جيداً لوجدت مؤشراً على مقدار وفرة المجلات المتخصصة، وكل واحد منها تركز على مجال أو اتجاه معيّن.. مثل التزلج الخطر والمثير على الجليد وطبخ المأكولات منخفضة السعرات الحرارية والسفر فى ولاية أريزونا الأمريكية، ومجلة للأشخاص الذين يديرون عملا من منزلهم، من خلال الحاسوب.. وأخيراً مجلات متخصصة للغاية فى مجالات الصحة والرفاهية وعلم النفس

والعلوم والسياسة ونجوم السينما ورقصات الروك، والموسيقى والصيد البرى وصيد الأسماك وممارسة الألعاب والفنون والأزياء والموضة والجمال ووسائل التجميل والعاديات والحواسيب والسيارات والمسدسات والمصارعة.

وحتى المجال السينمائى الذى بدأ بحفنة من شركات الإنتاج المستقلة ثم توحدت فى استديوهات كبرى منذ ثلاثينيات القرن العشرين، ما فتئت منذ ذلك الوقت، تسير فى طريق اللامركزية والتنوع الذى انتشر مؤخرًا. وفى الوقت الحاضر، نرى كمًا كبيرًا من الترفيه السينمائى من خلال شبكات التلفزة وقنوات البث الكبلية والشبكات الخاصة وشرائط الفيديو وعروض الفيديو الموسيقية. وقد استفاد المنتجون المستقلون من الابتكارات التقنية للكبلات وأقمار البث المباشر وتكنولوجيا تطوير شرائط الفيديو وأقراص الليزر وكاميرات الفيديو.

وقد تنامت واتسعت الفنون، بعدما أصبح الجمهور هو راعى الفنون. وأى فنان أو فن يتولد عن هذا يمكن أن يجد له سوقًا لتشبعه فى القرن العشرين. والواقع أنه ليس فقط الفنون التقليدية مثل الممثلون والكتاب والموسيقيون والرسامين هى التى نمت إلى مستويات غير مسبوقة، ولكن أيضًا أشكال الفنون "المنزلية"، مثل تجميل وبستنة البيئة والديكورات الداخلية للمنازل والمكاتب وتصميم الأزياء وأدوات التجميل وتصفيف الشعر والعمارة والاستشارات الزوجية.

وتوفير تلك المتطلبات يشكل بعض وظائف "الخدمات والمعلومات" التى استحدثت فى أواخر القرن العشرين. وتشمل وظائف "الخدمات" طرقًا كثيرة لمساعدة أناس آخرين، بدءًا من التمريض ومرورًا بإصلاحات الحواسيب وانتهاء بالمبيعات. وفى وظائف "المعلومات"، المتوقع أن تكون لها أكبر نسبة نمو خلال العقود التالية، يجد الناس ويقيّمون ويحللون ويخلقون المعلومات..

والواضح أن كاتب عمود بإحدى المجلات أو منتج أخبار تلفازية يؤدى وظيفة "معلوماتية". ولكن يفعل ذلك أيضًا المبرمجون ومساعدو المحامين والمحامون والمحاسبون والمحللون الاقتصاديون واستشاريو الائتمان والأختصاصيون النفسيون وأمناء المكتبات والمديرون والمهندسون وعلماء الأحياء ووكلاء السفريات والمعلمون.

وتقول مجلة فوربس: "لم يعد الناس يعملون عمالا بشكل متزايد، إذ يتعلمون تعليمًا مهنيًا ويحملون أدوات أعمالهم الهامة داخل "أدمغتهم". وطردهم من وظائفهم أو إبعادهم عن أماكن عملهم قد يضرهم عاطفيًا وماليًا. غير أن ذلك لا يبعدهم أبدا عن مهنهم، مثلما الحال مع الفلاحين الذين يتم طردهم من الأراضى التى نشروا البذور فيها لتوهم. وطوال قرون كان العمال أكثر اعتمادًا على منظومة مادة معينة أكثر منهم فى الوقت الحاضر. وعادة ما توفر الوظائف الحديثة لشاغليها المزيد من الاستقلالية وحرية حركة أكبر مما كانوا يفعلون فى أى وقت مضى".

تلك المهارات البشرية التى يحملها الناس معهم سوف يستمر تقدير قيمتها، مثل إدارة الأمور المعقدة والإبداع وتجهيز الأشياء لأناس آخرين، ومساعدة الناس على حل المشاكل، وتقديم خدمات قديمة فى أطر جديدة، والتعليم، والتدريب، واتخاذ القرارات. وهناك تصور معقول هو أن الكثير من صناعات الخدمات والمعلومات فى القرن العشرين سوف تستمر فى الظهور والوجود فى عالم تُطبّق فيه التكنولوجيا النانوية. والأصعب فى التصور هو ماهية الصناعات الجديدة التى سوف تشيد بمجرد توفر إمكانات جديدة لدينا وانخفاض التكاليف.

هناك عنصر حاكم يوجد جنبًا إلى جنب مع القانون الاقتصادى الجديد للعرض والطلب، هو تأثيرات أو تداعيات مرونة الأسعار. إن احتياج الناس إلى شىء ما يكون عادة "مرنًا"، بمعنى أنه يزداد وينقص عندما تقل أو ترتفع تكلفة إنتاج شىء ذى قيمة. فإذا كانت مثلا تكلفة الطيران إلى أوروبا ٥٠٠ دولار، فسوف يقضى المزيد من الناس عطلاتهم فى أوروبا عما إذا كانت تكلفة السفر ٥٠٠٠ دولار. فعندما كنت من قبل

تشغل عالم رياضيات بارعًا جداً للتعامل مع المعادلات كانت الحسابات تتم ببطء وتكلفك كثيراً. ولم يكن الناس مضطرين لإجراء مثل تلك الحسابات إلا إذا كانوا مضطرين تمامًا إليها. أما اليوم فقد أدى استخدام الحواسيب إلى أن يصبح إجراء الحسابات أرخص وتتم آليًا، ولذلك فإنّ الأعمال التجارية تتمكن من القيام بأعمال نمذجة مالية متطورة، ويقوم الكيميائيون بتصميم جزيئات البروتينات المتباينة، ويستطيع الطلاب حساب المسارات المدارية لسفن الفضاء، ويمكن للأطفال قضاء الوقت فى ألعاب الفيديو، وأصبح بمقدور صناع السينما إنتاج تأثيرات خاصة مدهشة، كما عادت رسومات الكرتون - التى انقرضت تقريباً بسبب الارتفاع الشديد فى أجور العمالة بها - إلى دور السينما.. وكل ذلك لأن الحواسيب تمكننا من إجراء الحسابات بتكلفة أقل. والتكنولوجيا النانوية سوف تطرح لنا إمكانات وقدرات جديدة وفى المتناول، لهؤلاء ولغيرهم من الناس. وفى أيامنا هذه فإن التنبؤ بما سيتم اختراعه من صناعات جديدة لا يقل صعوبة عما كان سيصادفه مخترعو الحاسوب الأول القديم (ENIAC) فى التنبؤ بحواسيب ألعاب الأطفال الرخيصة التى تُشغل الآن يدويًا.

ولذلك، فبدلا من إحداث بطالة مروعة، فإن التكنولوجيا النانوية يبدو أنها ستواصل المسيرة، التى نراها بالفعل حاليًا، بعيداً عن الوظائف التى يمكن ميكنتها إلى الوظائف التى يبرز فيها دور الجانب البشرى. بيد أن الإمكانات الحقيقية، مثلما الحال فى أمور عالمنا المعاصر، يصعب التنبؤ بها.

التغيير يقوّض المخططات

دائما ما تسبب التغيرات الكبرى فى الإحصاءات السكانية اضطرابات ما.. وحتى عندما نعرف أنّ تلك الاضطرابات قادمة، فإننا لا نستعد أبدا لها. إنّ خططنا تعتمد عادة على توقعاتنا لما سيحدث. فإذا سارت الأمور على غير ما نتوقع، فإننا نكتشف

أننا أسأنا "الاستثمار". على سبيل المثال كانت شركة "هويستن" العقارية ناجحة، وكان منتظرًا لها أن تستمر هكذا فى وقت ازدهار أعمال النفط.. وعندما تغيرت حظوظ شركات النفط، ظهر أن شركة "هويستن" العقارية بنت منازل بأكثر مما يلزم، وفى الوقت نفسه غالت فى أسعارها، وهكذا خسرت ملايين الدولارات.

وأدى طول أعمار الناس إلى دفعهم للتخطيط طويل المدى، غير أنَّ المعدلات السريعة للتغير أجبرتهم على اتباع مخططات قصيرة المدى. وقد أدى التقلب فى التكنولوجيا النانوية والسياسات النقدية الحكومية إلى تقليل الأطر أو النطاقات الزمنية للمخططات. وكالمعتاد سابقًا، كان رجال الأعمال يضعون خططًا روتينية ذات عمر مفيد يمتد إلى ثلاثين عامًا. أما اليوم، فإن معدل التغير البالغ السرعة واللايقين فيما يتعلق بالتضخم والتغيرات المحتملة فى قوانين الضرائب ازدادا بشكل كبير جداً، بحيث لم تعد تلك الاستثمارات معقولة ومناسبة. والتغير السريع سوف يواصل تقليل الأطر الزمنية أكثر فأكثر.

حملت الحكومات على عاتقها عبء التدبير لمدة حياة جيل واحد إلى الأمام. وعندما خرج علينا "أوتو فون بسمارك"، المستشار الألمانى الحديدى، ذات يوم بفكرة ضمان معاش شيخوخة للعاملين، كان ذلك طريقة بارعة وقليلة التكلفة، ولكنها مدعاة للسخرية لاكتساب شهرة وشعبية جارفة. إذ لم يعش سوى القليل من الناس إلى سن ٦٥ عامًا، وبالتالى كانت المبالغ المدفوعة لمعاشات أولئك شىء لا يذكر. ولكن بعد مشاهدة التجربة الألمانية لبضع سنوات، بدأت حكومات أخرى تحذو حذوها. ولم يخطر ببال إحداها تصور عالم كعالمنا هذا الذى تتمتع فيه فتاة طفلة تولد فى الولايات المتحدة الأمريكية بمتوسط عمر يبلغ ٧٨,٤ سنة، ويبلغ هذا الرقم حوالى ضعف الرقم الذى كان معروفًا وقت بسمارك، وحتى هذا الرقم يعتمد على افتراضات خاطئة بأن رعايتها الصحية لم تكن أفضل من تلك التى كانت تولى لجدتها الكبرى!

فى وقتنا الحالى، فإن إدارة التأمين الاجتماعى لديها نموذجان: أحدهما يسمَّى "إيجابيا" والآخر يسمَّى "سلبيًا". فى النموذج الإيجابى، يعمل الناس كالكلاب حتى الشيخوخة ثم يتقاعدون وسرعان ما يموتون، وعلى الأرجح قبل أن تتاح لهم الفرصة للحصول على قدر كبير من التأمين الاجتماعى ولا مزايا الرعاية الصحية. أما فى النموذج السلبى، فيتقاعد الناس مبكرًا ويصابون بأمراض تتطلب عناية طبية ثم يعيشون عمرًا طويلا يتوجهون خلاله لزيارة الأطباء والمكوث بالمستشفيات خلال تلك السنوات. ومن ثم، يتعين التوقف عن المخططات المعتمدة على هذين النموذجين. وهناك سيناريو أفضل وأكثر واقعية هو أن يعيش الناس ويعولون أنفسهم لفترة زمنية طويلة، أما أمراضهم فيمكن التعامل معها بسهولة وبدون تكلفة كبيرة. إنَّ مزايا التأمين الاجتماعى الحالية وخدماته تكفى لتوفير مستوى معيشة لائق، بما فى ذلك الغذاء والمسكن والانتقالات وهلم جرا. وفى المستقبل الذى تتوفر فيه ثروة مادية ضخمة، فسوف يكون من السهل توفير تلك المزايا والخدمات، وعندئذ لن تبدو توقعاتنا الحالية للمشاكل والمخاوف الاقتصادية الناجمة عن زيادة أعمار الناس، أمرًا غريبًا.

التأقلم مع التغير

لو رجعنا إلى سبعينيات القرن العشرين، عندما أصدر "ألفين توفلر" كتابًا يُسمى "صدمة المستقبل" لوجدناه يصف مدى ما سببه التغير السريع من إرباك للناس. كان هذا الكتاب من ضمن الكتب الأكثر مبيعًا، ولكن ما هو القدر الحقيقى لصدمة المستقبل هذه الذى رأيناه فى العقد الماضى؟.. أكثر الناس خرجوا من العقدين الماضيين وهم فى أحسن حال، ولم يصابوا بأى صدمة على الإطلاق. وبدلا من إصابتهم بالصدمة من التكنولوجيا، فإنهم فقط تضايقوا وانزعجوا من قضايا التلوث والمرور.

ولكن هل يعنى ذلك أن "توفلر" أخطأ فى التنبؤ بصدمة المستقبل؟.. وفى واقع الأمر، فإن التكنولوجيا مازالت تتطور سريعًا عبر العشرين عامًا الماضية. ولكن انظر إلى متوسط الحياة المنزلية للمرء: كم النسبة المئوية من هذا التطور التكنولوجى السريع ظهر تأثيرها فى هذا المجال؟.. إنه قدر هائل، إلا أن معظمه خفىٌ عن الأنظار بخلاف ما حدث فى الجزء الأول من القرن الماضى حيث كان التغير الواضح أمرًا عاديًا جدًا. وقد أثر إنتاج كل من المصابيح الكهربائية والأجهزة الكهربائية والسيارات والهواتف والطائرات وأجهزة الراديو والتلفاز على الحياة الخاصة لكل إنسان تقريبًا. ويمكن لحياة بعض الناس أن تكون امتدت من الوقت الذى كان المرء فيه يسافر بعربة يجرها جواد إلى الوقت الذى شاهدنا فيه هبوط بشر على سطح القمر بالتلفاز.

وفى المقابل، شاهدت العشرين عامًا الماضية دخول تكنولوجيات جديدة بهدوء إلى المنازل. غير أن مسجل الفيديو والفرن الميكرووى لا يبدوان ثوريين كالاختراعات السابقة عليهما. والهواتف المسجلة للمكالمات الواردة مفيدة لكنها لم تُحدث تغيرات كبرى فى أنماط حياتنا. وأجهزة الفاكس متاحة ولكنها تشبه البريد السريع المكتوب باليد ولذلك لا نجد أجهزة الفاكس فى أكثر منازلنا. وعلى ذلك فليس من المدهش أن الشخص العادى لم يشعر مؤخرًا بصدمة مستقبلية تُذكر. والأدوية الجديدة التى تؤخذ كحبوب – والتى ربما تكون قد تطورت بدرجة كبيرة – تشبه إلى حد كبير الحبوب السابقة. كما أن الفواتير المحوسَبة التى تأتى إلينا بالبريد ليست أكثر إثارة فى دفعها من الفواتير القديمة التى كان يكتبها بشر.

ومن غير الراجح، أن يستمر هذا الوضع.. ولكن ما هو الزمن الذى سيستغرقه التطور التكنولوجى السريع فى مجالات كثيرة كهذه بدون أن تظهر له تأثيرات على أنماط حياتنا؟.. لقد كانت هناك فترة تمهُّل أو تأجيل لصدمة المستقبل خلال العقود الثلاثة الماضية، بحيث أتيح للناس فرصة لالتقاط أنفاسهم. ولكن عندما تصل التكنولوجيا النانوية، هل تصل صدمة المستقبل معها؟

بعض أقسام وأجزاء من المجتمع الآن تتلقى تدريبًا مستمرًا على التعامل مع التطور التكنولوجي السريع. وأولئك الذين يتلقون أكبر قسط من التدريب المكثّف، يعملون في المجالات الحاسوبية، حيث يُعتبر الجهاز الذي عمره عامين متقادمًا، ويتعيّن تحديث البرمجيات كل بضعة شهور بغية مواكبة التطورات الحديثة.

تُرى هل أصبح هذا المعدَّل المفزع للتطور مربكًا ومقلقًا ومُسببًا للدوار؟.. ليس هذا صحيحًا للمستهلك، بل على العكس، أصبح استخدام الحواسيب أكثر سهولة. وفي ستينيات القرن العشرين، اشتملت الرياضيات الحديثة، والتي أدخلت في المدارس الابتدائية الأمريكية والمدارس الإعدادية / الثانوية، على دراسة مكثّفة للحساب باستخدام أعداد تُكتب بشيء ما بخلاف الأساس العشري المعروف. وكان ذلك لإعداد "شباب المستقبل" من أجل "عصر للحواسيب" الذي سنكتب فيه كلنا لغات البرمجة الدنيا للحواسيب بالنظام الشفري الثنائي (المكون من رقمين ١ ، ٠). إلا أن المستهلكون يشترون الآن برامجيات بدلا من كتابتها بأنفسهم.. إذ إنهم ليسوا مضطرين إلى التعامل مع لغات الحاسوب أبدا، ناهيك عن لغات التجميع الدنيا. إنَّ المعدل المتزايد في سرعة الحواسيب ساعد على صنع حواسيب أسهل في استخدامها.

وهذا التسلسل نفسه حدث مرات عديدة من قبل: فالسيارات بدأت بمرفق يدوي لتدويرها (منافلة) ثم تطورت إلى بادئ إدارة المحرك الذي تحتاج لجذبه بقدمك وأنت جالس على مقعد السائق.. أما الآن فالبادئ يعمل بشكل غير مرئي لك بمجرد أن تدير مفتاح الإشغال. وبالطبع هذا النمط سوف يستمر. أولا، سوف يتكيف بعض الناس مع التكنولوجيا الجديدة، ولكن على المدى الطويل سوف تتكيف التكنولوجيا ذاتها معنا! وكلما ازدادت قوة ومرونة التكنولوجيا سهل وازداد تكيفها معنا.

ولو نظرنا إلى الأمر من مسافة بعيدة، فالواضح أن أنماط التكيف الضئيلة سوف تشكل عملية أكبر تميز بها القرن التاسع عشر. ولقد بدأ العالم الغربي اختراع آليات للتعامل مع عالم متواصل التغير. غير أنَّ آلياتنا هذه ليست بالقطع مثالية أو لا تعرف

الألم، ويمكن لأى شخص عاطل عن العمل أن يؤكد ذلك. والواقع أن وكالات التوظيف ومتعهدى التوظيف الذين يخدمون طالبى الوظائف وإعانات البطالة، ومكافآت نهاية الخدمة لتسهيل التحول من وظيفة إلى أخرى، والتدريب أثناء ممارسة العمل، والتعليم المستمر، وإعادة التدريب، والندوات المتخصصة لتحديث المهارات المهنية، والاتحادات المهنية، والتواصل الاجتماعى من خلال الإنترنت... إلخ، ومراكز موارد المجتمع، وبرامج التدريب الحكومية، والوكالات التطوعية، كلها مجرد أمثلة قليلة للاختراعات التى تتعامل مع التغير والتحول المهنى. وهناك أيضًا خدمات تقديم المعلومات للمستهلكين، والوكالات التنظيمية، والمنظمات البيئية. والأكثر كفاءة منها هو الذى سوف يستمر ويبقى. وسوف يتواصل اختراع المزيد من الخيارات أمام الناس.

الفصل الثانى عشر

السلامة والحوادث والانتهاكات

ثمة بعض الحقائق البديهية المُسلَّم بها: تكون كل تكنولوجيا تقريبًا عُرضة لاستخدامها وسوء استخدامها وانتهاكها ولوقوع حوادث بسببها. وتكون التكنولوجيا فى أقوى حالاتها، عندما تُستخدم بشكل صحيح، بينما تكون فى أسوأ حالاتها عند انتهاكها. كما أن أى تكنولوجيا قوية وفعالة بين أيدى البشر يمكن أن تتعرض إلى حوادث. ولا تُستثنى من ذلك التكنولوجيا النانوية والتصنيع الجزيئى. والحقيقة أنه لو حل التصنيع الجزيئى محل الصناعة الحديثة الحالية وحلت منتجات تكنولوجيتها النانوية محل التكنولوجيات المعاصرة، إذن فإنَّ أكثر حوادث المستقبل سوف تنجم عن التكنولوجيا النانوية.

وهناك حقيقة بديهية أخرى: فى عالم تنافسى متنوع، فإنَّ أى تكنولوجيا رخيصة بدرجة معقولة، ولها تطبيقات تجارية وطبية وعسكرية هائلة، يمكن بالتأكيد تقريبًا تطويرها واستخدامها. ومن الصعب تصوُّر سيناريو ما (بعيداً عن انهيار الحضارة) لا تستطيع فيه التكنولوجيا النانوية الظهور، إذ يبدو ذلك حتمياً. وإذا كان ذلك صحيحاً، فإنَّ مشاكله مهما كانت صعبة لابد من التعامل معها.

والتكنولوجيا النانوية، مثلها مثل الشاحنات والطائرات والتكنولوجيا الحيوية والصواريخ والحواسيب والأحذية والملابس الدافئة، عُرضة لاستخدامها بشكل سلمىّ وآمن أو بعنف وعدائية. فى الاستخدامات السلمية الآمنة (كما يبدو من تعريفها) يحدث

الضرر للناس، إما من جراء الحوادث أو كنتائج غير مقصودة. ولكن فى الاستخدامات العنيفة، يكون الضرر عمديًا. وفى السيناريو السلمى الآمن، يكون السؤال الصحيح هو "هل يمكن للأفراد المعرضين للخطأ الذين يسعون من أجل أغراض بشرية عادية استخدام التكنولوجيا النانوية بطريقة تقلل من المخاطر والأضرار التى تلحق بالآخرين؟". وفى السيناريو العسكرى العنيف أو العدائى يكون السؤال الصحيح هو "هل يمكننا إلى حد ما حفظ الأمن والسلام؟". وإجابتنا على السؤال الأول هى بالتأكيد "نعم" وعلى الثانى - بشىء من التردد - "ربما".

وطوال تلك المناقشة، فإننا نفترض أن معظم الناس لديهم دراية واهتمام بالأمور التى تتعلق بسلامتهم الشخصية، وأن البعض سوف يكون واعيًا ومنتبهًا للأمور المتعلقة بالسلامة العالمية. وخلال سبعينيات القرن العشرين، غالبًا ما كان الناس، وهم يستيقظون على المشاكل الهائلة طويلة المدى للتكنولوجيا النانوية، يشعرون بالعزلة والعجز. ومن الطبيعى أنهم كانوا يشعرون أن التكنولوجيا خارجة عن سيطرتهم، وأن الذى يتحكم فيها جماعات من أشخاص قصيرى النظر وغير مسؤولين. واليوم مازالت هناك بعض الصراعات المحتدمة، إلا أن حالة المد والجزر قد توقفت. وعندما تظهر الآن قضية جديدة تشغل الرأى العام بخصوص تكنولوجيا واضحة، أصبح الأكثر سهولة الاستماع إلى شرح للقضية فى وسائل الإعلام وفى المحاكم وفى الدوائر السياسية. إن تحسين تلك الآليات من أجل تحقيق يقظة اجتماعية وسيطرة سياسية على التكنولوجيا أصبح تحديًا مهمًا. والحقيقة أن الآليات الحالية غير كاملة، غير أنها مازالت تحقق دفعًا فى الاتجاه الصحيح.

وعلى الرغم أننا نفترض وجود يقظة، فإنها مصدر نادر فعلا، والمقدار الكلى للقلق والطاقة المتاحين للتركيز على المشاكل طويلة الأجل محدودة للغاية، لدرجة أنه يتعيَّن علينا استخدامها بعناية، وألا نبددهما فى مشاكل تافهة أو وهمية. جزء من اهتمامنا فى هذا الفصل هو المساعدة فى تصنيف القضايا التى تثيرها التكنولوجيا النانوية

بحيث يتيسر لنا تركيز اهتمامنا على المشاكل الواجب حلها، والتى قد لا يهتم بها البعض.

تتناول الأقسام القليلة التالية تلك الحوادث ذات الطابع التقليدى، والتى تتضمن مزايا السلامة واضحة. أما الأقسام اللاحقة عليها فسوف تتناول مشاكل أكثر حداثة، والتى يكون بعضها صعبًا للغاية لدرجة أننا ليس لدينا إجابات أو حلول جيدة لها.

السلامة فى الأنشطة العادية

عندما ازداد ثراء البلاد، ازدادت أعمار سكانها، على الرغم من التلوث وحوادث السيارات. والثروة الأكبر معناها طرق أكثر أمانًا وسيارات أكثر أمانًا ومنازل أكثر أمانًا وأماكن عمل أكثر أمانًا. وعبر التاريخ جلبت التكنولوجيات الجديدة مخاطر مستحدثة، ويشمل ذلك أخطار تهدد الحياة والإصابات والضرر الذى يصيب البيئة المحيطة، غير أن الناس الأكثر حصافة فقط تقبلوا التكنولوجيات الجديدة، عندما طرحت خليطًا محسنًا من المخاطر والمزايا. وعلى الرغم من وقوع أخطاء جسيمة من وقت إلى آخر، فإنَّ السجل التاريخى نجح فى اختيار التكنولوجيات التى تقلل من مخاطرها الشخصية. يجب أن يكون الأمر على هذا النحو وإلا لما كنا نعيش أعمارًا أطول.

وعلى التصنيع الجزيئى ومنتجاته مواصلة السير فى هذا الطريق، ليس كتسلسل تلقائى، وإنما نتيجة لليقظة المستمرة للناس الذين يمارسون العناية فى أخذ واختيار التكنولوجيات التى يسمحون بها فى حياتهم اليومية. وسوف توفر التكنولوجيا النانوية سيطرة أفضل على الإنتاج والمنتجات، والسيطرة الأفضل تعنى عادة أمانا أكثر. التكنولوجيا النانوية سوف تزيد الثروة، وأيضا السلامة التى فى صورة الثروة التى يقدرها الناس. وسوف تكون المناقشات والمجادلات العامة ولوائح الأمان أجزاء قياسية فى هذه العملية.

الأمان بالمنازل

الحوادث المنزلية عموما تقع إثر إساءة استخدام أو انسكاب أو استهلاك أحد المنتجات الخطرة. إن منازلنا اليوم تعج بمواد أكالة أو حارقة أو سامة تستخدم لتنظيف البالوعات وإذابة البقع وتسميم الحشرات وهلم جرا. وللأسف كثيرا ما يشرب الأطفال تلك المواد ويموتون. ولكن مع توفر تكنولوجيا متطورة، فإن أيا من تلك المهام لن يتطلب استخدام هذه المواد الكيميائية الضارة المؤذية. فالتنظيف يمكن أن يتم بواسطة أجهزة نانوية مختارة بدلا من المواد الأكّالة، والحشرات يمكن مكافحتها بواسطة أجهزة مثل حاميات البيئة التى تعرف الفرق بين الصرصار والإنسان أو الخنفساء الدعسوقة. وبلا شك ستكون ثمة فرصة لحدوث حوادث مميتة، ولكن مع العناية والجهد المتواصل، يجب أن يكون من الممكن ضمان أن تكون التكنولوجيا النانوية للمنازل أكثر أمانا مما تحل محله، وذلك لانقاذ الكثير من الأرواح.

وبالطبع، من الممكن تصور كوابيس ما خاصة بالسلامة، ويمكن استخدام التكنولوجيا النانوية لإنتاج منتجات أكثر تدميراً من أى شىء رأيناه من قبل، ذلك أنها يمكن أن تستخدم لتوسيع مدى قدرة معظم ما نراه حاليًا. والمتصور أن مثل تلك المنتجات لن تكون معتادة أو مألوفة، حتى فى الوقت الحاضر، فمثلا غاز الأعصاب قد يستخدم فى صنع مبيد حشرى شديد القوى، ولكنه لا يباع للاستخدامات المنزلية. وبالطبع فإنَّ التفكير الواقعى بشأن الأخطار المختلفة يتطلّب الاحتكام إلى المنطق.

السلامة الصناعية

رأينا بالفعل كيف يمكن للتكنولوجيات فائقة التطور والفعالية أن تقضى على انسكابات النفط عن طريق وقف استهلاك النفط. ويمكن أن نحكى قصة مماثلة عن أى مستوى من الحوادث الصناعية التى تقع فى أيامنا هذه. ولكن ماذا بشأن الحوادث

- انسكابات النفط وما شابهها - في ظل التكنولوجيات الجديدة؟ بدلا من محاولة رسم صورة لتكنولوجيا المستقبل وكيفية إمكان فشلها وردود الأفعال الممكنة إزاء ذلك، يبدو من الأفضل أن نحاول تجربة فكرة ما. فما الذى يمكن عمله للتعامل مع انسكابات النفط، إذا كان هذا النفط يجرى استخدامه؟.. إنَّ ذلك سوف يُبيِّن لنا كيف يمكن استخدام التكنولوجيا النانوية للحيلولة، دون وقوع الحوادث.

فإذا حدث انسكاب للنفط على الشاطئ؛ يمكن للآليات النانوية المتقدمة أداء عمل رائع بفصل النفط عن الرمال وإزالة النفط من على الصخور وتنظيف الزيت الخام حتى من على ريش الطيور وسيقان أوز "البرنقيل" المكسُوّة بالريش. إنَّ التلوث بالنفط هو مشكلة تلوث للبيئة، وسوف تشكل التكنولوجيا النانوية مساعدة كبيرة حقا فى تنظيف هذا التلوث.

ولكن لماذا يتعيّن وصول النفط إلى الشاطئ؟.. فالإنتاج الاقتصادى سوف يجعل من السهل تخزين معدات تنظيف بالقرب من جميع طرق الشحن الرئيسية، جنبًا إلى جنب مع أساطيل من الحوامات لتوصيلها إلى أى استغاثة نجدة وإنقاذ، تصدر من ناقلة نفط. ومعدات تنظيف النفط التى تصنعها التكنولوجيا النانوية يمكنها بكل تأكيد أداء عمل عظيم بكشط الزيت من مياه البحر، قبل وصوله إلى الشاطئ.

ولكن لماذا يمكن أن يتسرب النفط من ناقلة النفط؟.. إنَّ الإنتاج الاقتصادى لمواد قوية يمكن أن يجعل بدن السفينة مكون من قطعة واحدة (بدون لحامات) من مواد ليفية أقوى من الفولاذ، ووضع طبقات مزدوجة وثلاثية ورباعية من تلك المواد فوق بعضها البعض. بالإضافة إلى أن المواد الذكية بإمكانها تحقيق الالتئام الذاتى للخروق والشقوق. وهياكل السفن مثل تلك بمقدورها الاصطدام بالصخور بسرعات عالية للغاية بدون حدوث انسكاب للنفط.

ولكن لماذا يجب على أى شخص شحن النفط الخام عبر البحار؟.. فحتى أثناء ضخ النفط (بالرغم من رخص الطاقة الشمسية وأنواع الوقود المتكونة بفعل الشمس)، يمكن لمنظومات المعالجة الفعالة للجزيئات، تكريره إلى وقود سائل نقى عند فوهة بئر الاستكشاف، وبمقدور آليات شق الأنفاق الرخيصة فتح مسارات ومجار لخطوط مواسير تُدفن على عمق كبير تحت سطح الأرض.

أى واحد من تلك التطورات يمكن أن يقلل من مشاكل انسكابات النفط الحالية أو يقضى عليها، وكلها مجدية اقتصاديًا. ويوحى لنا هذا المثال بنمط عام أكثر شمولية، فإذا كان بمقدور التكنولوجيا النانوية طرح تلك الأعداد الكثيرة لطرق تفادى أو مواجهة انسكابات النفط، وهى واحدة من أكبر الحوادث وأكثرها تدميراً للبيئة الناجمة عن الصناعة فى الوقت الحاضر، فلعلها يمكن أن تفعل الشىء نفسه للحوادث الصناعية عمومًا.

الأسلوب الأكثر مباشرة هو الأكثر أهمية: وهو إزالة أى شىء يماثل المصانع والعمليات الصناعية الكبيرة حاليًا. والحقيقة أنَّ التغير من أنشطة حفر آبار النفط المُربكة والفوضوية وناقلات النفط الضخمة، إلى منظومات توزيع صغيرة الحجم معتمدة على الخلايا الشمسية، وهو تغيُّر مميز للأسلوب الذى يمكن من خلاله استخدام التكنولوجيا النانوية. والصناعة الكيميائية الحالية تعتمد عادة على مصانع تعج بخزانات كبيرة ممتلئة بكيماويات تحت ضغط. ولذلك ليس بمستغرب حدوث انسكابات وانفجارات وحروق بها من وقت إلى آخر. وفى ظل وجود التكنولوجيا النانوية، سوف تصبح المصانع الكيميائية غير ضرورية، لأن الجزيئات يمكن نقلها بأعداد صغيرة بحسب الحاجة إليها إلى المكان الذى يلزم أن توجد فيه، بدون الالتجاء إلى درجات حرارة لافحة أو ضغوط عالية أو خزانات ضخمة. وهذا الوضع لن يتجنَّب فقط النواتج الفرعية للتلوث، وإنما سيقلل من مخاطر وقوع الحوادث.

الأدوية يمكن أن تكون أيضًا آمنة أكثر. فالأدوية عادة ما تكون لها آثار جانبية يمكن أن تسبب ضررًا دائمًا أو تؤدى إلى الوفاة. أما الأدوية النانوية فسوف تطرح بدائل لإغراق جسم الإنسان بكيماويات يحتمل أن تكون سامة. وغالبًا ما يريد المرء تحقيق هدف واحد، هو أن يفيد الدواء معدته أو ربما قرحته. ويجب على المضاد الحيوى أو العلاج المقاوم للفيروسات مقاومة بكتيريا أو فيروسات معيَّنة وليس الإضرار بأى شيء آخر. وعندما يحقق الدواء سلامة وفعالية الأجهزة المناعية وأجهزة جراحة الخلايا، سوف يكون ذلك ممكنًا.

ولكن ماذا بشأن الحوادث الطبية والآثار الجانبية؟.. سوف يجعل التصنيع الجزيئى من الممكن لحاسات فائقة إبلاغ الباحثين الطبيين بتأثيرات أى علاج جديد، ومن ثمّ تحسينه واختباره. كما أنَّ الحاسات الأفضل سوف تساعد فى مراقبة أى تأثيرات سلبية لعلاج أى مريض منفرد. ومع توفر العناية سوف تتلف بعض الخلايا فقط، وتنطلق مجرد تركيزات صغيرة من النواتج الفرعية السامة، قبل ملاحظة ذلك وتصحيح العلاج بما يلزم للمريض.

وعندئذ، سوف تتوفر مصادر الأدوية المصنوعة بالتكنولوجيا النانوية للتعامل مع تلك المشكلة. ومع توفر تقنيات الركود الحيوى، فإنَّ أسوأ الأمراض الطبية وأخطرها يمكن إيقاف تفاقمها أثناء تقدم العلاج للمريض. وباختصار فإنَّ الأخطاء الطبية الخطيرة يمكن تضييق نطاقها للغاية، بحيث تصبح شبه نادرة الحدوث، وفى الوقت نفسه، يمكن تصحيح أكثر الأخطاء الطبية.

والاستنتاج الذى نصل إليه، من تلك الأمثلة الخاصة بانسكابات النفط والمصانع الكيميائية والتأثيرات الجانبية للعلاجات الطبية، مباشر للغاية اليوم يدفعنا فقرنا

النسبى وعجزنا التكنولوجى النسبى فى اتجاه صنع واستخدام معدات ومنظومات وتقنيات خطرة ومدمرة نسبيًا. ومع زيادة الثراء والقدرة التكنولوجية، سوف يتاح لنا خيار تنفيذ ما نفعله الآن (وأكثر) ولكن بخطورة أقل ودمار أقل للبيئة.. وباختصار القدرة على عمل المزيد بطريقة أفضل.

وفى ظل وجود تكنولوجيات نتحكم فيها بشكل أفضل، ومع توفر تدابير كافية للقلق والتبصر والنظر فى العواقب، سوف نكون قادرين على تصحيح أخطائنا بشكل أفضل بكثير. وبالطبع، لن يحدث ذلك تلقائيًا، ولكن مع العناية والاهتمام الطبيعيين، يمكننا تدبر أمرنا، بحيث تكون الحوادث المستقبلية أقل حجما وأندر حدوثًا عما كان فى الماضى.

حوادث وأحداث غير عادية

تناول القسم السابق الحوادث والأحداث العادية التى تقع أثناء استخدام التكنولوجيا النانوية، بمعرفة أفراد مسؤولين عادة ولكنهم عُرضة للخطأ والقصور. غير أنَّ التكنولوجيا النانوية تثير أيضًا شبح ما يُطلق عليه "حوادث وأحداث غير عادية": وهى حوادث تتضمن استخدام أجهزة وأدوات نانوية ذاتية الاستنساخ لا يمكن السيطرة عليها. ويمكن للمرء تخيُّل صنع جهاز بحجم البكتيريا ولكنه أكثر قوة بكثير وأقرب إلى التهام كل شىء فى متناوله. تلك الأجهزة الخارجة عن السيطرة يمكن أن تطير مثل حبوب اللقاح وتتكاثر مثل البكتيريا، وتأكل نطاقًا واسعًا من المواد العضوية، وهذه كارثة بيئية رهيبة يبلغ حجمها حدًا لم يعرفه أحد من قبل.. والواقع أنها كارثة يمكنها تدمير المحيط الحيوى الذى نعرفه ونعيش فيه. وهذا أمر يستحق القلق فعلاً، ولكن هل يمكن حدوث ذلك بالصدفة؟

كيف يتم التجهيز لخطأ كبير؟

لعل سيناريو ما يُسمَّى بـ "ستار تريك Star Trek" (المسمى باسم إحدى حلقات مسلسل الخيال العلمى "ستارتريك" وعنوانها: الجيل التالى المتسم بـ "المُنمنمات المُهلكة" التى لا يمكن السيطرة عليها) ربما هى المشكلة التى يتم تصورها عادة فى هذا الصدد. وفى هذا السيناريو يقوم شخص ما ببذل جهد هندسى هائل لتصميم وصنع أدوات أو أجهزة تشبه إلى حد كبير "النموذج" الذى أشرنا إليه توًا: وهو بحجم البكتيريا ويلتهم كل ما يكون فى متناوله ويمكنه الحياة فى نطاق عريض للغاية من البيئات الطبيعية، كما أن بمقدوره استنساخ نفسه ذاتيًا، مع تزويده ببعض الضمانات الملحقة به - مثلا ساعة توقف عمله بعد وقت معيَّن أو من شىء آخر- ثم فجأة تتعطل الساعة، أو أحد تلك المستنسخات الخطرة يصنع نسخة ذات ساعة معيبة، ومن ثم، فسرعان ما نشاهد وقوع كارثة بيئية حيوية مروعة غير مسبوقة.

سوف يكون ذلك حادثًا كارثيًا وغير مسبوق بكل المقاييس. ولكن لاحظ جيداً أنَّ هذا السيناريو المُدمر يبدأ بقيام شخص ما بصنع أداة أو جهاز ذى قدرات هائلة، بحيث يكون فائق الخطورة، ولكن تعمل بعض ضمانات أو وسائل أمان على إيقاف بدء التفجير. ويشبه ذلك قيامك بتحويط منزلك بالديناميت واعتمادك على سقَّاطة أمان لمنع التفجير، بحيث إن أى انفجار بعد ذلك يُسمى حادثة، ولكن المشكلة ليست فى آلية الأمان تلك، وإنما فى وضع الديناميت أصلا.

تُرى هل نحن بحاجة إلى وضع ديناميت فى التكنولوجيا النانوية؟.. إنَّ الأمر يستحق تدبير وجود قدر قليل من الحافز لحدوث أى شىء حتى ما يُشبه المُستنسخ الخطير السابق ذكره. (لاحظ أن موضوعنا هنا هو الحوادث، أما الأحداث العمدية فهى شىء آخر).

كيف نتجنَّب ذلك

فى ظل تكنولوجيتنا الحالية، التى يسهل إنشاؤها، مثلا سيارة تعمل بالبنزين أو واحدة تبحث عن الوقود فى الغابة؟.. الواقع أن السيارة الباحثة عن وقود يصعُب جداً تصميمها، كما أنَّ صنعها يتكلَّف الكثير وبها أجزاء أكثر لتفكيكها. والأمر يُشبه حالة التكنولوجيا النانوية.

ناقش "رالف ميركل" من مركز (زيروكس بالو ألتو) للأبحاث القضية فى أول مؤتمر للنظر فى عواقب التكنولوجيا النانوية، وشرح وجهة نظره بقوله: "إنه لأمر غير اقتصادى وأكثر صعوبة أن تصمم منظومة ذاتية الاستنساخ تقوم بصنع كل جزء تحتاج إليه بنفسها من المركبات الموجودة فى الطبيعة. البكتيريا تفعل ذلك، ولكن لكى تفعل ذلك فعليها تخليق كل الأحماض الأمينية العشرين ومركبات أخرى كثيرة، وذلك باستخدام منظومات إنزيمية محكمة مجهَّزة خصيصًا لهذا الغرض. وبالنسبة إلى البكتيريا وهى تواجه عالم عدائى لها، فإنَّ قدرتها على التأقلم مع بيئة متغيرة محدقة بها والاستجابة لها تستحق أى تكلفة تقريبًا، إذ بدون هذه القدرة، فإنها سوف تُباد تمامًا من الوجود.

"ولكن فى بيئة المصنع، حيث تتوفر إمدادات كافية لكل المطلوب، فإنَّ القدرة على تخليق أجزاء من لا شيء ليست فقط غير لازمة، بل إنها تستهلك وقتًا وطاقة أكثر، كما أنها تنتج نفايات زائدة. وحتى لو أمكننا تصميم منظومات صناعية ذاتية الاستنساخ بنفس مرونة المنظومات الموجودة فى الطبيعة، فإنَّ أى نظام جاسئ وغير مرن يتوافق بشكل أفضل، مع بيئة المصنع الذى يجد نفسه فيه، من أى تصميم أكثر تعقيداً وأكثر توافقًا وأقل كفاءة".

وأكثر من ذلك، فقد أظهر لنا سيناريو "شركة وردة الصحراء الصناعية" كيف أنَّ مصنع توسعى يمكنه أن يعمل بدون أجهزة ذاتية الاستنساخ بالمرة: فالتصنيع الجزيئى

لا يحتاجها أبدا. وإذا استخدمت لغرض ما، فإنها على الأرجح سوف تشبه السيارات فى احتياجاتها إلى كثير من التفاصيل غير المهمة. والأجهزة الجزيئية ذاتية الاستنساخ المُنتِّجة لأغراض صناعية (والمنتجة بأبسط الوسائل الممكنة) سوف تطفو فى وعاء به بعض الكيماويات المختارة بعناية. ومثلما الحال مع السيارة، فإن أفضل كيماويات تُستخدم لعلها كيماويات غير شائعة فى الطبيعة، ومن السهل جعل ذلك قاعدة فى التصميم كما يلى: **لا تصنع أبدا كيانًا ذاتى الاستنساخ يمكنه استخدام مركبات طبيعية وفيرة كوقود له.**

إذا اتبعنا هذه القاعدة، فإنَّ فكرة ذاتى الاستنساخ الذى "يهرب" ويتضاعف ذاتيًا فى الخلاء، تكون بنفس حماقة فكرة توحش سيارة ما وقيامها بتموين نفسها من عصارة الأشجار. وسواء كنا نتحدث عن مستنسخات ذاتية أو سيارات، فإنَّ تصميم جهاز يمكنه العمل فى الخلاء لا يمكن أبدا لقلم الرسام تصوره، غير أنَّ جهدًا كبيرًا ومثابرًا فى البحث والتطوير تركز على هذا الهدف. إن الاصطدامات والانفجارات تحدث فى المعدات والآلات فجأة، لكن القدرات الجديدة المعقدة لا يمكنها ذلك.

هناك خطأ نفسى بسيط يحدث عادة، عندما يسمع شخص ما أولا عن التكنولوجيا النانوية، ثم يسمع ذكرًا لـ "أجهزة جزيئية" و "مستنسخات ذاتية" و"حواسيب نانوية" و "أجهزة نانوية" تعمل فى الطبيعة. والخطأ هو هذا: يكون هذا الشخص صورةَ عقلية جديدة واحدة للتكنولوجيا النانوية ويضع كل شىء فيها ثم يقلّبها جميعًا. وبعد عملية تخمر ذهنية معينة، تصبح النتيجة جهازًا نانويًا "أسطوريًا" يقوم بكل شىء.. يصبح مستنسخًا ذاتيًا، يصبح حاسوبًا جبارًا، يصبح سيارة لاندروفر.. يمكن لهذا الجهاز النانوى أن يقطع ويخرط ويفرم.. وبعد تفكير متأن يبدو لك هذا الجهاز النانوى الأسطورى خطيرًا وخارجًا عن السيطرة. وبجهد كاف، ربما يمكن صنع جهاز نانوى يفعل كل شىء غير أن ذلك يبدو صعبًا ولا يوجد سبب جيد لمحاولة ذلك.

ثمة مزايا لصنع منظومات من الأجهزة الجزيئية التى يمكنها استخدام كيماويات رخيصة متوفرة، ومن الأدوات والأجهزة التى يمكن أن تعمل فى الطبيعة.. غير أنَّ تلك الأجهزة ليس من الضرورى أن تكون مستنسخة ذاتيًا. وشركة مثل "وردة الصحراء" قد تكون صُممت لكى تستخدم القليل فقط من الطاقة الكهربائية المتولدة من ألواح الخلايا الشمسية والجزيئات من الهواء، إلا أن مشروعًا كهذا لا يضيع بسهولة. من الممكن صنع أجهزة نانوية، لتنظيف التلوث وأداء مهام أخرى بالخلاء، بمواقع تُدار مثل وردة الصحراء، ثم تنتشر أو يتم تركيبها فى الأماكن التى يلزم وجودها فيها.

والحوادث الغريبة وغير العادية تستحق الاهتمام منا، ولكن مع قليل من العناية يمكن تجنبها تمامًا. والحافز لصنع شىء ما يشبه سيناريو المستنسخ ذاتيًا فى الإستراتيجيات الحربية المستقبلية، ضئيل للغاية، حتى من وجهة نظر عسكرية. وأى مجهود لصنع شىء كهذا يتعيَّن أن نراه ليس كتكنولوجيا نانوية وإنما كانتهاك. ولكن الانتهاكات الأخرى تبدو أكثر احتمالا وأيضًا أكثر سوءًا.

الخطر الرئيسى: الانتهاك

الخطر الرئيسى من التكنولوجيا النانوية ليس الحوادث، وإنما الانتهاك. ومزايا السلامة الخاصة بالتكنولوجيا النانوية، لو استُخدمت بعناية كافية، سوف تخلى بعض اهتمامنا للتعامل مع هذه المشكلة الأكثر صعوبة. وكما عبَّر "لستر ملبراث" فإنَّ: "للتكنولوجيا النانوية قدرة مروعة بحيث يمكن استخدامها لأغراض شريرة أو لتدمير البيئة بنفس سهولة استخدامها لأغراض حميدة ولتحسين البيئة وتجديدها. وهذا الخطر الكبير يتطلب مستوى من السيطرة السياسية أبعد بكثير مما تمارسه أكثر الدول فى الوقت الحاضر. إن علينا مواجهة مهمة هائلة لتعليم اجتماعى".

حتى الآن، ركزنا اهتمامنا على كيفية تحقيق القدرات الزائدة لغايات بناءة. وليس مدهشًا أن النتائج والتداعيات المحتملة - مع الاستثناء الهائل للتمزق الاجتماعى والاقتصادى - إيجابية للغاية. والتكنولوجيا النانوية الممتازة والنظيفة تمامًا والمتحكم فيها والرخيصة، عند تطبيقها بعناية واهتمام، يمكنها إعطاء نتائج أفضل بكثير من التكنولوجيات الملوثة للبيئة والمرتفعة التكلفة والأكثر فوضى والأدنى مرتبة. ويجب ألا يسبب ذلك أى دهشة، إلا أن ذلك نصف القصة فقط. والنصف الآخر هو تطبيق هذه التكنولوجيات المتقدمة نفسها فى أغراض مدمرة.

والقراء الذين يشعرون بأن كل ذلك يبدو أفضل من أن يتحقق، يمكنهم التنفس بعمق مع الشعور بالراحة.. فهذه المشكلة تبدو صعبة فعلاً.

الضوابط التعاونية

التصنيع الجزيئى سوف يقود إلى تكنولوجيات أكثر قوة وفعالية، غير أن تكنولوجياتنا البدائية الحالية لها بالفعل قدرات يمكنها تدمير العالم، ونحن قد عشنا مع هذه القدرات لعقود كثيرة حتى الآن. وفى السنوات القادمة، سوف نحتاج إلى تقوية مؤسساتنا للحفاظ على سلام وطيد وآمن.

وإذا رأى غالبية القوى السياسية فى العالم، ومعها أكثر رجال الشرطة والقوى العسكرية، أن طريق تحقيق المصلحة الذاتية يكمن فى السلام والاستقرار، عندئذ ستبدو الحلول سهلة. (إن تصوُّر حدوث سباق تسلح فى التكنولوجيا النانوية مروع فعلا ويجب تجنبه بأى ثمن.. وبالنسبة إلى هذا الكتاب، فإن نهاية الحرب الباردة تطرح أمامنا أملا أفضل لتجنب هذا الكابوس). ويشرح "جيمس ك. بينيت"، مسؤول أعمال التكنولوجيا العالية ومتحدث فى السياسات العامة تابع لمركز القضايا الدستورية فى التكنولوجيا، الهدف من ذلك قائلا: "التكنولوجيات المتقدمة، وخصوصًا تلك ذات

القدرات واسعة المدى مثل التكنولوجيا النانوية، سوف تخلق طلبًا شديدًا لتنظيمها. وسيكون التحدى هو خلق ضوابط ووسائل تحكم كافية لمنع المتعطشين إلى القوة من انتهاك التكنولوجيات، بدون كبح جماح التطور أو خلق نظام دولى متغطرس.

فى العقود الزمنية التالية، سوف تأخذ عملية منع انتهاك التكنولوجيا النانوية شكل لوائح وتحجيم التسلح وتفعيل أنشطة منع الإرهاب. وفى مجال تقييد الأسلحة يجب أن تُشكل التكنولوجيا النانوية حافزًا قويًا للتعاون الدولى للمراقبة والاستقصاءات المتبادلة الوثيقة فى شكل برامج أبحاث مُشتركة.

والإمكانات الإنتاجية للتصنيع الجزيئى سوف تجعل من الممكن التحرك من نموذج أولى تشغيلى لسلاح إلى إنتاجه بالجملة فى غضون أيام. وفى اتجاه أكثر غرابة، يمكن تطوير أجهزة نانوية خطرة، بما فى ذلك "جراثيم" ممكن برمجتها (سواء كانت تتكاثر أم لا) من أجل استخدامها فى الحرب البيولوجية. وأى من هذين التطورين يمكن أن يُحدث حربًا. وفى ظلّ السلام الذى يبدو مربحًا وسباق التسلح الذى يبدو خطرًا للغاية، فإن سياسة تقييد إنتاج الأسلحة من خلال تنمية تعاونية يبدو جذابًا جدًا. غير أن هذا لا يجعل الأمر سهلا بالمرة.

الإرهاب ليس أمرًا مقلقًا وشيكا، فقد عشنا مع الأسلحة النووية وغازات الأعصاب لعدة عقود حتى الوقت الحاضر، وغاز الأعصاب تحديدًا ليس من السهل إنتاجه. وفيما يتعلق بهذا الكتاب، ليست ثمة أى مدينة تمت إزالتها بمعرفة إرهابيين ينفذون عمليات لهم، ولم يقم أى إرهابى قط بتهديد من مثل هذا النوع. ومواطنو هيروشيما وناجازاكى، مثل أكراد العراق، سقطوا ضحايا للأسلحة النووية والكيميائية التى تستخدمها الحكومات وليس جماعات صغيرة. ما دامت التكنولوجيا النانوية أكثر طموحًا وإثارة من الكيمياء البسيطة لغاز الأعصاب، فمن المؤكد أن الإرهاب النانوى لم يشكّل قلقًا رئيسيًا.

ولكن، لكى نجعل التكنولوجيا النانوية مستعصية المنال، فإننا نحتاج إلى تنظيم فإذا تركنا كل إنسان حرًا فى إنتاج أى شىء باستخدام التصنيع التكنولوجى، فسوف يجىء يوم تتقدم فيه قاعدة التكنولوجيا وتتوفر التصميمات لعدد أكبر من الأدوات والأجهزة النانوية، وعندئذ سوف يتوصل شخص ما فى مكان ما - ولو لمجرد الحقد من، شخص آخر أو النكاية به - إلى كيفية الجمع بين تلك المعدات والأجهزة النانوية لصنع مستنسخات ذاتية خطرة ثم يطلق عقالها. وبالطبع سيكون هناك علامات تحذير، ولكن أثناء المسار الطبيعى للأحداث، سوف تجذب بعض القضايا المتظاهرين والمحتجين قبل المعارضين الثائرين ومثيرى الشغب، وأيضًا تنتج قنابل ترسل مع طرود البريد قبل القنابل التى توضع فى السيارات. والأرجح أن انتهاك التكنولوجيا النانوية سوف يكون ملحوظًا ومعروفًا بمدة طويلة قبل تفشيه بشكل مدمر، وهذا على الأقل سوف يوفر بعض الوقت لمحاولة الاستجابة لهذا الخطر المروع.

التكتيكات التنظيمية

الانتهاك من هذا النوع يمكن تأجيله، ربما لفترة زمنية طويلة، باتباع التنظيمات والقوانين الصحيحة. والهدف هنا ليس إصدار قوانين ولوائح شديدة التضييق، حيث إن الناس عندئذ سوف يضطرون إلى مخالفتها لعمل أى شىء. وسوف يزيد ذلك من الاعتراضات والأنشطة السريَّة وعدم احترام القانون. وبدلا من ذلك، فإنَّ هدفنا هو رسم حدود فاصلة مرنة إلى حد ما لتقليل الصعوبة أمام التدابير القانونية، وفى الوقت، نفسه جعل الأنشطة الخطرة أكثر صعوبة فعلا. وهذا توازن دقيق فى تحقيقه، فأولئك الخائفين من الخطر من الطبيعى أن يحاولون تطبيق أنظمة بدائية وقمعية، بينما تحاول الشركات بالطبع تخفيف وتجنب القوانين واللوائح كلية. ومع ذلك، فلابد من حل تلك المشكلة، ويبدو أن هذا أفضل مسار علينا أن نتبعه.

أحد المنطلقات هنا أنَّ المعدات والأجهزة النانوية يمكن تقسيمها إلى قسمين: الأجهزة التجريبية والمنتجات المُعتمدة. المنتجات المعتمدة يمكن إنتاجها بوفرة من خلال مواقع تصنيع جزيئى ذات أغراض خاصة. وعلى ذلك، فبمجرد نجاح جهاز تجريبى ما فى عملية الفحص التنظيمى له، فمن الممكن أن يكون رخيصًا ومتوفرًا. وبهذه الطريقة يمكن إشباع الطلبات الكثيرة على منتج ما بدون احتياج أى شخص إلى انتهاك قواعد السلامة والأمان.

المنتجات المعتمدة يمكن أن تشمل أجهزة مثل (ولكن ليس أفضل من) مدى واسع من المنتجات الاستهلاكية الحديثة التى تتراوح من الحواسيب الشخصية فائقة التقدم ذات شاشات مجسَّمة (ثلاثية الأبعاد) يتم صنعها من مواد إنشائية ذكية، إلى أحذية الركض ذات الخصائص الرائعة والمدهشة. ومن الضرورى أن تُخصَّص التكلفة الرئيسية لمثل تلك المنتجات للمصمم كرسم إنتاج لها. وفى كتاب "محركات الخليقة" (وهو أول كتاب يبحث فى هذا الأمر)، تُسمى إستراتيجية إنتاج وتوزيع المنتجات المعتمدة "منظومة تجميع محدودة".

لاحظ أنَّ كلا من المنتجات المعتمدة والمُجمعات المحدودة التى تصنعها تفتقر إلى القدرة على إنتاج نسخ من نفسها، أى الاستنساخ الذاتى. ويرى "رالف ميركل" هذه القدرة باعتبار أنها ينبغى مراقبتها جيدًا حيث إنَّ: "المنظومات ذاتية الاستنساخ يمكن، بل يجب، أن يتم تنظيمها بعناية. ولكن يبدو أنه ليست هناك حاجة للقلق بأكثر مما ينبغى بشأن الأدوات والأجهزة التى لا يمكنها استنساخ نفسها.. ويتعيَّن أن نحتاج بشأنها، مثلما الحال بخصوص أى أداة أو جهاز، إلى قوانين عادية لضمان استخدامها بشكل صحيح.. ذلك أنها لا تثير أى مشاكل غير عادية". وبالنسبة لمعظم المنتجات، يمكن تطبيق المعايير الطبية والتجارية والبيئية وتكون البيروقراطيات فى مكانها الصحيح.

وثمة مزايا عظيمة للسماح بحرية التجارب العلمية فى أى تكنولوجيا جديدة. بما يسمح للأشخاص المُبدعين بتجربة أفكار معيَّنة بدون الحصول على موافقة مسبقة من أى لجنة مزعجة ومعرقلة. والمدهش أن هذا أيضا يبدو مُتسقًا مع السلامة والأمان.

فى عالم التكنولوجيا النانوية، يكون ميكرون مُكعب واحد حجمًا أو فراغًا كبيرًا، بحيث يتسع لملايين المكونات. كما أنَّ ميكرون مُكعب واحد يتسع لمختبر ضخم متعدد الاستخدامات. وعلى أى أداة أو جهاز بالمقياس الميكرونى، نجد أن السنتيمتر الواحد مسافة هائلة. وتحويط أداة ميكرونية الحجم بجدار سماكته سنتيمتر واحد يماثل تحويط إنسان بجدار سماكته كيلومتر واحد، وبنفس صعوبة اختراقه. وأكثر من ذلك، من الممكن حرق أداة ميكرونية الحجم بشىء بالغ الضآلة مثل شرارة كهرباء إستكاتيكية. وعلى ضوء ملاحظات كهذه، يطرح كتاب "محركات الخلق" فكرة "مختبر المُجمعات المُحكم الغلق" التى يمكن لباحث فيها أن يصنع أى شىء، حتى شىء مُصمم خصيصًا لكى يكون خطرًا، وفى الوقت نفسه، يكون غير قادر على إخراج أى شىء من المختبر المجهرى باستثناء المعلومات.

وعند توفر شبكة اتصالات جيدة، يمكن لباحث أو مُطوِّر لمنتج ما فى تكساس أن يُجرى تجارب بنفس السهولة بمعمل "مين" البعيد بنفس السرية والأمان المتاحين لمصرف سويسرىّ. وسوف يتحمل المختبر مسؤولية تجاه عملائه من حيث الحفاظ على سرية عمليات الملكية، ومسؤولية تجاه السلطات التنظيمية لضمان عدم تسرب أى شىء سوى المعلومات من المختبر. وعندئذ يمكن للباحثين إجراء التجارب صغيرة الحجم التى يريدونها. وبالطبع، لن يتم إنتاج سوى المنتجات المعتمدة خارج المختبر المحكم. وبينما نرى أنَّ ذلك ليس أفضل نمط ممكن للتنظيم، فإنه يُظهر جانبًا يمكن فيه الخلط بين حرية إجراء التجارب واللوائح الصارمة لاستخدام تلك التجارب. وعن طريق الفصل التام بين النشاط القانونى وغير القانونى، فإنَّ ذلك سوف يُساعد فى المشكلة الصعبة لتحديد ومنع الأبحاث التى تهدف إلى تحقيق أهداف مدمرة.

سوف تعمل السياسة المعقولة على إحداث توازن بين خطر الانتهاك الخاص أو الفردى للتكنولوجيا وخطر الانتهاك الحكومى للتكنولوجيا والتنظيم. والتصنيع منخفض التكلفة يمكنه جعل أجهزة ووسائل المتابعة والمراقبة أقل ثمنًا. وبمقدور المراقبة الزائدة تقليل بعض المخاطر فى المجتمع، إلا أنَّ المراقبين أنفسهم نادراً ما يتم متابعتهم بانتباه جيداً. ووضع قيود على المراقبة يعتبر تحديًا لمواطنى الوقت الحاضر وأيضًا لمواطنى الغد، ومن الممكن تطبيق الدروس المستفادة من الماضى فى المستقبل.

يبدو من الحكمة على المدى الطويل افتراض أن شخصًا ما، فى مكان ما وبطريقة ما، سوف يهرب من قيود التنظيم وتقييد الأسلحة ويُطبق قدرات التكنولوجيا النانوية لصنع أسلحة جديدة. وإذا تحققت لدينا قبل ذلك الوقت عقود من التطوير الخلاق المسؤول الآمن للتكنولوجيا النانوية (أو ربما بضع سنوات من المساعدة من قبل أجهزة ذكية)، فلعلنا نكون وقتئذ قد طورنا كلا من منظومات حماية البيئة وأجهزة المناعة المتطورة لصالح مجال الطب. وهناك سبب قوى للاعتقاد بأن التكنولوجيات الموزَّعة من هذا النوع يمكن تكييفها وتوسيعها لتتعامل مع مشكلة الوقاية من الأسلحة النانوية. والفشل فى تحقيق ذلك ربما يعنى حدوث كارثة. ومع ذلك فإنتاج منظومات وقائية من هذا النوع سوف يكون إلى حد بعيد أكبر تحدٍ من أى شىء ناقشناه بالفعل. ويجب أن يكون الغرض الرئيسى من الأساليب أو التكتيكات التنظيمية التى شرحناها، هو إتاحة وقت أطول لتلك التطويرات السلمية، من أجل تعظيم فرص تلبية تلك التحديات قبل نفاد الوقت.

(أى ناقد أو مراقب يُعلن أنَّ هذا كتاب متفائل، نتهمه بأنه فشل فى قراءة الفقرة السابقة وفهمها).

نوجهها أم نوقفها ؟

الحوادث المحتملة تستحق بالفعل الاهتمام بها، ونحن نثق فى أن هذا الاهتمام يكفى لأن تصبح التكنولوجيا النانوية قوة تعمل لصالح الإنسان وسلامة البيئة. والانتهاك هو الخطر الأكبر ومن الصعب التعامل معه. وعند النظر فى أى سياسة مقترحة، يجب أن يكون السؤال الأول هو: "كيف سيؤثر ذلك على احتمال حدوث انتهاكات خطيرة على المدى الطويل؟".

التوجيه يعنى خلق خيارات كثيرة

إن توجيه تكنولوجيا ما عملية معقدة. ويعنى توجيهها التعامل مع قرارات متعددة تحدد ما هى التطبيقات المفيدة وما هى التطبيقات الضارة فى مجالات معقدة مثل الطب والاقتصاد والبيئة. إنها تعنى جعل مثل تلك الخيارات السعيدة، ذات المنطلقات الكثيرة الجيدة، تُطبَّق فى تنظيف أكوام النفايات السامة وعكس تأثير الاحتباس الحرارى. كما أنها تعنى اتخاذ قرارات أكثر صعوبة فى مجالات تخطيط واستعادة عافية المنظومات البيئية وتطويرات البيئة.

تلك المشاكل سوف تطرح علينا مدى من الخيارت أفضل مما لدينا الآن، وفى الوقت نفسه، يكون لتلك الخيارات قيمة حقيقية فى النزاعات المثارة. تُرى ما الذى له استخدام أفضل لقطعة معيَّنة من الأرض، الاستعادة البطيئة للمنظومات البيئية البرية أم تطويرها إلى حديقة ترفيهية؟ أى من هذين الخيارين سوف يكون أفضل من الرصف والمناجم السطحية المكشوفة ومقالب النفايات... إلخ، بيد أنَّ تلك الخيارات ستظل خلافية ومثيرة للجدل.

وبالمثل سوف يتوفر لدينا فى الطب خيار تطوير طرق كثيرة لعلاج السرطانات وطرق كثيرة لعلاج أمراض القلب وأيضًا طرق كثيرة لعلاج الإيدز. غير أن التكنولوجيات التى يمكن استخدامها لإعادة بناء عضلة القلب يمكن توسيعها لتشمل إعادة بناء العضلات والأنسجة الضامة بأماكن أخرى من الجسم، بدون حدوث التأثيرات الجانبية الضارة لأدوية الستيرويد[1]. وسوف يكون نطاق الخيارات المفتوحة للناس هائلاً، ولكن – من جديد – عُرضة للكثير من الجدل.

وعندما نناقش اليوم تكنولوجيا طبية جديدة، يكون هناك تعليق معتاد هو "هذا الإجراء يثير قضايا أخلاقية". ويؤخذ ذلك علامة على تأخير التطبيق، مع تجاهل بعض القضايا الأخلاقية مثل "هل حجب هذا العلاج المنقذ للحياة، بينما نحن نعيد النظر مليًا، مما يشابه ارتكاب عملية قتل؟". عندما يثير خيار ما قضايا أخلاقية أو يطرح قيمًا معينة للجدل، فإن ذلك هو وقت اتخاذ قرار أخلاقى، أو التنحى جانبًا وترك الآخرين يختارون لأنفسهم. وإقرار تجنب الشىء الذى أثار المشكلة أو القضية هو نفسه قرار نتخذه.. وغالبًا ما يكون من غير الممكن الدفاع عنه أخلاقيًا. والتكنولوجيات الجديدة سوف تواجهنا بقرارات غير مريحة علينا اتخاذها، ولكن أليست الحياة نفسها على هذا المنوال؟

إن إرساء قواعد لتطوير التكنولوجيا النانوية سوف يشكل تحديًا لنا: إذ إن العثور على وسائل حرية البحث إلى أقصى حد ممكن وفى الوقت نفسه الحيلولة دون حدوث انتهاكات خطيرة، كما أنَّ نشر ذلك فى جميع أرجاء العالم سوف يكون تحديًا اجتماعيًا من الدرجة الأولى. ووراء ذلك توجد قرارات تتعلق بقواعد تطبيقها، ثم تحدى زيادة حرية الاختيار والتصرُّف إلى أقصى حد ممكن وفى الوقت نفسه الحيلولة دون حدوث انتهاكات خطيرة، من جديد، فى جميع أرجاء العالم.

وتوجيه التكنولوجيا النانوية يعنى أن نكافح مع مجموعة من القرارات التى يمكنها فى نهاية الأمر إعادة صياغة العالم – إلى الأفضل لو تمسكنا بالعقل والحكمة، أو إلى

(١) مجموعة من المنشطات التى تتضمن مركبات عضوية تحتوى على الكربون والأكسچين والهيدروچين وغيرها. (المترجم)

الأسوأ لو كثرت أخطاؤنا وقل حذرنا - وتفادى تلك المسؤولية الخطيرة (إذا أمكن) سوف يكون مُغريًا وجذابًا، بيد أنه فى ظل وجود المخاطر البيئية والإنسانية، فلعله يكون خاطئًا من الوجهة التاريخية.

محاولة التوقف معناها فقد السيطرة

أبسط أسلوب يمكّن تصوره لـ "توجيه" التكنولوجيا النانوية هو إيقافها.. غير أن الرحلة السهلة إلى هذا المخطط هى الرحلة التى تذهب إلى لا مكان!

لابد أن تكون لهذه الرحلة جاذبية خاصة، إذا كان ذلك ممكنًا. والتكنولوجيا النانوية، بسبب قابليتها الهائلة للانتهاك، فإنَّ لها قدرة محتملة على التسبب فى ضرر كبير. وإذا آمنا بأن البشر والمؤسسات البشرية غير صالحة للتعامل مع التكنولوجيا النانوية ، أى إنها تميل كثيرًا إلى تحويلها إلى استخدام عسكرى عدائى أو هجومى، أو أن هناك احتمالاً كبيرًا لجعلها متاحة بين أيدى المجانين - إذن لعل خيار إيقاف تطور التكنولوجيا النانوية يصبح جذابًا فعلا. إلا أن القضية الأخلاقية التى يجب أن توجه التصرفات الإنسانية ليست هى "هل الأفضل أن نوقفها؟" وإنما هى "هل محاولات إيقافها ستجعل الأمور أفضل؟".

أحد الخيارات هو الاندفاع إلى الأمام والتأكيد على الاحتياج إلى الحيطة والحذر، وأيضًا على الاتجاه إلى التطبيقات الجيدة والمفيدة. إن الوعد بالتطبيقات الطبية والاقتصادية والبيئية، جنبًا إلى جنب مع التهديد الذى يطرحه سباق التسليح الجديد، يشكلان دافعًا قويًا للتعاون الدولى وفى ظل الأهداف الإيجابية والوقفة العالمية الشاملة، يصبح التعاون الدولى إستراتيجية واعدة.. ويمكنه تشكيل قاعدة لتوجيه تطوير التكنولوجيا النانوية وتطبيقها.

وثمة خيار آخر هو التأكيد على الجانب السيئ؛ أى التركيز على النقاش حول الانتهاكات المحتملة، وذلك تأييداً للحملة الرامية إلى إيقاف التطوير. وباتباع تلك الإستراتيجية ربما ترغب مجموعة من النشطاء فى تقليل أهمية التطبيقات المدنية للتكنولوجيا النانوية والتأكيد على تطبيقاتها العسكرية. والقصص المُرعبة عن الانتهاكات المحتملة (وتشمل انتهاكات يسهل على اللوائح الحيلولة دون حدوثها) سوف تساعد على جعل الصورة العامة للتكنولوجيا النانوية غريبة وخطرة.

ربما تنجح هذه الإستراتيجية فى كبح جماح نطاق الأبحاث المدنية فى بلدان كثيرة، ولكن ليس على الأرجح فى كل بلاد العالم. ومن سوء الحظ، فإنها سوف تنجح فى ضمان تمويل برامج أبحاث مصنَّفة باعتبارها عسكرية بمختبرات موجودة فى كل أرجاء العالم، وذلك بسبب خوفها المؤكد وقتئذ من النتائج والتداعيات، إذا نجح شخص آخر فى تطوير التكنولوجيا النانوية أولا. ووسط جو عام عدائى، سوف تندفع الأبحاث إلى برامج سريَّة، وفى ظل السرية، فإن مظاهر التعاون الدولى الشامل سوف تختفى. وعندئذ تصبح محاولات إيقاف التكنولوجيا النانوية، خوفا من سباق تسليح جديد غير مستقر، نبوءات تتحقق بسبب اعتقاد الناس بحدوثه مقدماً. وبعد ذلك يمكن لمؤيدى هذا الرأى أن يقولوا "لقد حذرناكم!"، عندما ينزلق العالم إلى حرب حضَّروا هم أنفسهم لحدوثها.

إن محاولة إيقاف التطوير التكنولوجى أمر بسيط ولكنه يعبِّر عن فكرة خطرة.. وكلما زاد نجاحها، ازداد الاستقطاب الذى تسببه بين مؤيدى ومهاجمى التكنولوجيا. والنجاح المعتدل لها سوف يدفع بالأبحاث بعيداً عن الجامعات إلى مختبرات وشركات أبحاث عسكرية. والنجاح الأكبر لتلك المحاولة سوف يدفع بالأبحاث بعيداً عن مختبرات الشركات إلى برامج مخيفة شديدة السرية. أما النجاح الساحق لها فسوف يُنهى معظم هذا ويترك البرامج العسكرية الباقية الوحيدة فى أيدى حكومات تتسم بالقمعية الشديدة أو فى أيدى أيديولوجيات شاذة ومدمرة. والطبيعى أن هذا السيناريو ليس هو الذى يفضله المرء لتطوير التكنولوجيا النانوية .

النجاح الكامل سوف يكون النجاح الحقيقى الوحيد، ويعنى ذلك حظر الأبحاث، ليس فقط فى الولايات المتحدة وألمانيا وفرنسا وبقية أوروبا الغربية واليابان وروسيا الاتحادية (الاتحاد السوفيتى سابقًا) وجمهورية الصين الشعبية وتايوان، وإنما أيضًا فى كوريا وجنوب أفريقيا وإيران والعراق وإسرائيل والبرازيل والأرجنتين وفيتنام وجزء من كولومبيا الذى يسيطر عليه كارتل ميدلين[٢]. وفيما بعد عندما تتحسن الحواسيب ويتطور علم الكيمياء وتتزايد أعداد المجاهر ذات المجسات القريبة التى يصنعها طلبة المدارس الثانوية. فإنَّ النجاح التام سيتطلب منع الأولاد من اللهو بالجراجات المنتشرة بضواحى مدينة بتسبيرج.

الضغوط التنافسية تدفع التكنولوجيا تجاه التحكم فى المادة، ورأينا كيف يمكن تحقيق هذا الهدف من مسارات كثيرة متباينة. ومنع أحد مجالات البحث لن يعوق التقدم، أو إيقاف العمل فى دولة ما. وعندما تؤخر الولايات المتحدة تطوير الأدوية من خلال لائحة تصدرها وكالة الغذاء والدواء، فإنَّ شركات الأدوية تحوِّل ببساطة الأبحاث إلى ما وراء البحار، أو تلعب الشركات غير الأمريكية دورًا أكبر. وتعتبر إمكانية إطلاق مركبات فضائية مدارية وإمكانية إنتاج أسلحة نووية أمثلة أخرى. ونادرًا جدًا أن تكون إحدى الدول قد أعطت تلك الإمكانية إلى دولة أخرى، بينما نجد على الأقل ثمانى دول قادرة على إطلاق أقمار صناعية منفردة لتدور فى مدارات لها حول الأرض، وعلى الأقل توجد سبع دول قامت بتفجيرات نووية، وثمة دولتان أخريتان يُعتقد أنهما على وشك الوصول إلى إنتاج أسلحة نووية.

وقد صنعت الهند وإسرائيل قنابل وأطلقت أقمارًا صناعية، رغم أن واحدة منهما لا تُعتبر قوة رائدة فى مجال التكنولوجيا العالمية.

---

(٢) Medellin Cartel عصابة تقوم بتهريب المخدرات. (المترجم)

وحينما نتكلم عن التكنولوجيا النانوية، نجد أنَّ دولا كثيرة قادرة على إجراء الأبحاث المطلوبة، وبإمكانها إجراء المزيد منها فى المستقبل. وكوريا الجنوبية لديها كل من القدرة الصناعية المطلوبة والطموح، كما أن زوارا من جمهورية الصين الشعبية يسألون الآن عن التكنولوجيا النانوية وبمقدور قرار واحد تتخذه القيادة، التى توجه الموارد فى دولة ما، أن يحقق نتائج فى أى مكان تقريبًا. وتدريجيًا تتزعزع الولايات المتحدة من تصورها بأنها تقود عالم التكنولوجيا. وهذا الوهم يُعد أساسًا واهيًا لاتخاذ قرارات أو تنفيذ إجراءات.

التصرف المسؤول

تبدو التكنولوجيا النانوية من كل الاعتبارات والجوانب العملية واقعًا لا يمكن تجنبه. ومع العمل الدؤوب، يمكن جعلها مفيدة، ولكن فقط إذا توخينا عناية عادية فى تجنب الحوادث، وعناية استثنائية لمنع الانتهاكات.

ومن الصعب جعل الناس يتعاملون مع تكنولوجيات المستقبل بجديَّة. وحاليًا تسيطر المشاكل اليومية على المناقشات، وتبذل الأفكار المتباينة، فيما يتعلق بالإمكانات المستقبلية، جهداً كبيراً لتكوين رأى عقلانى صحيح. وبسبب هذا الجُمود، فإنَّ التنظيم الدولى واسع النطاق للتكنولوجيا النانوية لن يكون ممكنًا حتى توجد التكنولوجيا النانوية بالفعل، وحتى يبدأ الناس رؤية نتائجها. وعندئذ، لكى يكون التنظيم أكثر فعالية، يتعيَّن على الباحثين والحكومات فى بلدان كثيرة أن يتعاونوا معًا وينشئوا علاقات طيبة وديَّة مع منتقدى تلك التكنولوجيا.

وقتئذ ماذا يكون مسار العمل المسؤول اجتماعيًا أو المنطلق الذى سيتجنَّب على الأرجح انتهاكات خطيرة للتكنولوجيا النانوية والتى نتوقع أن تحقق بعضًا من فوائدها المحتملة؟ نحن نعتقد أنَّ هذا المسار أو المنطلق هو تحديد المخاطر والانتهاكات الكامنة

وكيفية تجنبها، ولكن أيضًا التأكيد على تطبيقاتها المدنية فى مجالات الطب والبيئة والاقتصاد. تلك هى المزايا التى تتجنب مبررات المطالبة ببرامج تطوير مدنى مفتوح، وأيضًا مبررات التعاون الدولى الذى يمكن أن يوفر الأساس للتوجيهات الدولية الفعالة.

إنَّ توجيه التكنولوجيا النانوية ليس أمرًا سهلاً.. إذ سوف تواجهنا سلسلة من الخيارات أكبر من التى واجهتنا فى أى وقت مضى فى التاريخ. وفقط بالتمسك بتلك الخيارات يمكننا أن نؤثر عليها إلى ما هو أفضل.

الفصل الثالث عشر

السياسة والتوقعات

على الرغم من أنَّ الأبحاث الهندسية الاستكشافية يمكن أن تظهر لنا بعض الإمكانات أو الاحتمالات التكنولوجية المستقبلية، فإن اكتساب تلك المعرفة يمكن أن يكون له تأثير مُحيِّر على إحساسنا بالمعرفة، وعلى إدراك مدى ما نعرفه عن المستقبل. إنَّ تلك المعرفة تعطينا المزيد من المعلومات، غير أنها يمكن أن تكشف عن مدى كبير من الإمكانات لدرجة أننا نشعر بأننا نعرف أقل مما كنا نعرف من قبل.

إن احتمالات التكنولوجيا النانوية والتصنيع الجزيئى له تأثير ظاهرى التناقض.. فهو يجعل السيناريوهات - مثل عالم الفقر الذى يسود فى منتصف القرن الواحد والعشرين، أو الاختناق بفعل التلوث الناجم عن التوسعات الهائلة فى نمط الصناعة الذى ساد فى القرن العشرين - لا تبدو محتملة بالمرة. وهذه معلومات مفيدة فى محاولة فهم موقفنا الحقيقى ومحاولة وضع خطط معقولة للمستقبل. ومع ذلك فقد اتسع نطاق الإمكانات الجديدة أكثر مما كنا نتصور من قبل. فى الجانب السلبى، يمكن للمرء أن يتصور صنع وسائل تدمير قادرة على تخريب العالم بنفس قوة القنبلة النووية. وفى الجانب الإيجابى، يمكن للمرء أن يتصور مستقبلا طويلا من السلام المستقر المتسم بدرجات عالية من الصحة والثروة وجودة البيئة وسلامتها، أعلى بكثير من أى سوابق تاريخية مضت، وأبعد بكثير عن أى توقعات حالية لها.

وداخل هذا الطيف الواسع من الاحتمالات، وبعيداً إلى يمينه ويساره، يوجد مدى واسع من الأحوال المستقبلية التى لا يمكن أن نتخيلها. وأفعالنا يومًا وراء آخر هى التى سوف تدخلنا فى إطار تلك الأحوال المستقبلية.. ليس إلى مستقبل ما لمخططاتنا الحالية أو أحلامنا أو كوابيسنا، ولكن إلى مستقبل حقيقى، سوف ينبثق من النتائج المقصودة وغير المقصودة لأعمالنا، مستقبل سوف يتعين علينا نحن ومن يأتون من بعدنا أن نعيش فيه.

السيناريوهات هى أدوات مفيدة للتفكير فى المستقبل، لكنها لا تمثل تنبؤات لما يمكن أن يحدث، وإنما تمثل صوراً حالية للعوالم التى يمكن للمرء أن يتخيلها. ومن خلال النظر إلى تلك الصور ومعرفة كيف يتم تجميعها بجوار بعضها البعض، بمقدورنا محاولة الوصول إلى فكرة ما عن ماهية الأحداث الأكثر احتمالا وماهية الأحداث الأقل احتمالا.. وأيضًا الوصول إلى فكرة ما عن كيفية تأثير الخيارات التى نتخذها اليوم على شكل الأشياء القادمة لاحقًا.

السيناريو صفر: التوقعات العادية

سوف يكون للتكنولوجيا النانوية تأثير طفيف مباشر على العالم، حتى ينتهى تطويرها بعد عدة سنوات من الآن. غير أن توقع التكنولوجيا النانوية يؤثر على كيفية تفكير وتصرف الناس فى الوقت الحاضر. ولكن حتى هذا التوقع ما زال فى مراحل التطور الأولى، والأرجح أنه سيكون له تأثير طفيف على أمور العالم لسنوات قادمة. وعند طرح الأطر العامة لتلك السيناريوهات، يبدو من المعقول البدء بنظرة عالمية نمطية، على الأقل لبضع سنوات قادمة، ثم النظر فى كيفية احتمال بدء التكنولوجيا النانوية، وتوقعاتها، فى التفاعل مع التطورات واسعة النطاق.

فى وقت كتابة هذا المصنف، نجد أن التوقعات القديمة لشؤون أوروبا الشرقية والشرق الأوسط والعالم قد انقلبت رأسًا على عقب مؤخرًا، وأصبحت التوقعات بالفعل غامضة ومشوشة إلى حد ما. ومع ذلك فما زال بمقدور المرء أن يحدد الإطارات العامة للتصور الشامل السائد للأحداث المتوقعة فى السنوات والعقود القادمة.

لن تتغير التكنولوجيا كثيرًا فى غضون السنوات الخمس القادمة، أو حتى فى الخمسين عامًا القادمة. قدرة الحواسيب سوف تستمر فى النمو بسرعة، ولكن لن يكون لها سوى القليل من التأثيرات المهمة. وستكون التحديات الكبرى للتكنولوجيا بيئية، أى تتعلق بغازات الاحتباس الحرارى والأمطار الحمضية ومشاكل النفايات السامة.

وعلى التوازى مع ذلك، يتسلق المزيد والمزيد من الدول سلم القدرات التكنولوجية، وذلك حتى الوصول إلى أهداف بعيدة مثل القدرة على إطلاق أقمار صناعية وصنع أسلحة نووية وصناعة الشرائح الإلكترونية للحواسيب. ومع التدفق العالمى للمعلومات التقنية والتأكيد العالمى على التطوير التكنولوجى، سوف يلحق المزيد والمزيد من دول الدرجة الثانية بركاب الرواد المطورين للتكنولوجيا.

تستمر الأجهزة الإلكترونية فى التحسن، بيد أن ذلك يُفضى إلى مواطنين أفضل تفكيرًا وليس أفضل معرفة. كما تستمر فى الظهور الإعلانات المثيرة، مثل الموصلات الفائقة التى تعمل فى درجات حرارة عالية والاندماج النووى عند درجات الحرارة المنخفضة، ولكن فقط عقب سماع صيحات استغاثة زائفة ورؤية الكلاب الصغيرة وسماع حكايات عن الجان، يسارع معظم الناس بالتشكك فى الإنجازات العلمية الكبرى المزعومة.

وحتى فى غضون ثلاثين إلى خمسين سنة، تفترض معظم أنباء الصحف وتقارير المحللين الثقاة حدوث تغيرات تكنولوجية قليلة. وتفترض التوقعات لمدة خمسين عامًا من تراكم غاز ثانى أكسيد الكربون فى الجو، أن معظم الطاقة سوف يستمر الحصول

عليها من الوقود الأحفورى. كما تفترض التنبؤات لمدة ثلاثين عامًا من الأزمات الاقتصادية (بسبب تقدم المواطنين فى السن ونقص عدد القوى العاملة) أن الإنتاجية الاقتصادية لن تتغير كثيرًا.

ومن ناحية الإنتاجية والثروة، تستمر الولايات المتحدة فى فقد أسواق مقارنة بالاقتصاديات المزدهرة لشرق أسيا.. مقارنة باليابان وكوريا الجنوبية وتايوان وسنغافورة. وبالتعبيرات السياسية نجد أن سيناريو التوقعات العادية أقل وضوحًا، ولكن يبدو أن التوقعات تسير كما يلى: أدى تحطم الكتلة الشرقية وانهيار الشيوعية، باعتبارها "تطورًا" مثاليًا، إلى عالم أكثر حرية وأكثر ديمقراطية. وفى أوروبا الغربية وربما أسيا الوسطى، تظهر دول مستقلة ولكل منها قاعدة صناعية ومواطنين يحصلون على تعليم متميّز فى العلوم والتكنولوجيا.

إن التدهور النسبى للولايات المتحدة اقتصاديًا والاتحاد السوفييتى سابقًا عسكريًا أضعف بعض الروابط التى تربط الديمقراطيات العالمية ببعضها البعض. كما أضعف التهديد المتزايد للقوة العسكرية السوفيتية، التحالفات الدولية. وعندما يضعُف حلف شمال الأطلنطى (الناتو)، وعندما تدمج الدول الأوروبية حياتها الاقتصادية والسياسية، فإن الفجوة بين الولايات المتحدة وأوروبا تتسع. وإزاء ضعف الضغط السوفيتى على اليابان، فإن التحالف العسكرى الأمريكى اليابانى يضعف وعندئذ تبدو الخلافات التجارية نسبيًا.

وفى هذه البيئة، تتزايد ضغوط المؤيدين لحماية الإنتاج الوطنى.. وعندئذ يتزايد احتمال حدوث انهيار اقتصادى، ويصبح التحول من العلاقات الودية إلى الخصومات السلمية احتمالا منذر بسوء. ويعنى قيام مراكز متعددة ومتساوية تقريبًا للإمكانات الاقتصادية والتقنية، وجود حوافز أو دوافع للمزيد من الاندماج والتعاون، ولكن أيضًا دوافع للمزيد من المنافسة والسرية.

بيد أنه على المدى الطويل، تؤدى الموارد المحدودة وتكاليف كل من التلوث ومكافحة التلوث، إلى توقف النمو الاقتصادى فى عالم يزداد فقره باستمرار. وقد قل ازدياد أعداد السكان خلال تلك الفترة، بيد أنه خلق ضغوطًا اقتصادية وبيئية كبيرة. وتتعاظم النزعات حول الموارد إلى درجة نشوب الحروب. والمناخُ تغير بشكل لا يمكن إعادته إلى أصله، أما الغابات القديمة، فقد اختفت تقريبًا، كما كاد معظم السلالات الحية أن ينقرض بعد أن قلت أعدادها بدرجة خطيرة.

التغيرات فى السنوات الخمس أو العشر الأولى من سيناريو التوقعات العادية يمكن أن تسبب إنهاء السيناريوهات التى تغطى تطور التكنولوجيا النانوية، ربما فى السنوات العشر أو العشرين القادمة.

السيناريو الأول: المُفرط فى التفاؤل ينتصر

نحن نعيش فى عالم يشبه عالم سيناريو التوقعات العادية، بعد سنوات من الترقب، ولكنه عالم تم فيه مؤخرًا تطوير مجمعات فعالة إلى حدٍ ما. وللمرة الأولى ينظر كل من وسائل الإعلام والجمهور وصانعو السياسات إلى مستقبل التكنولوجيا النانوية بجدية.

يبدو ذلك جيدًا جدًا بالنسبة إليهم، فالعمل التقنىّ قد أظهر أنه بمجرد ظهور التكنولوجيا النانوية يمكن استخدامها بطريقة نظيفة ومسيطر عليها، وأنها ستقضى فى النهاية إلى الحلول محل الصناعات الملوثة للبيئة، وفى الوقت نفسه تُزيد بشكل كبير من ثراء الفرد. والمزايا الصحية المتوقعة هائلة، وبعد سنوات من ازدياد أعداد الوفيات بسبب مرض الإيدز - والذى نشأ جزئيًا من التطورات فى الطب الجزيئى - أصبح الجمهور حساسًا للغاية من التقارير المنتظمة للعدوى بالإيدز بين البشر بواسطة

فيروسات بدائية دخيلة قادمة من أفريقيا. وقد زاد القلق بشأن استقرار جو الأرض والمنظومات الحيوية، إثر تناقص الغابات وتغير أنماط الطقس.

والحق أن تصور كسر هذه الدورة الرهيبة أمر جذاب ورائع. ومن الواضح أن التكنولوجيا النانوية لا تشكِّل ضرراً عندما توضع بين أيدى أشخاص حسنى النية، وزاد انقضاء عقد ساد فيه السلام نسبيًا من دفع الكثير من الناس إلى نسيان وجود دوافع أخرى.

وهكذا فى ظل المساندة الشعبية الشاملة المذهلة المقدمة من التحالف بين خبراء ومناصرى البيئة الهادفين إلى استبدال الصناعة القائمة، ورجال الصناعة الهادفين إلى إنشاء تكنولوجيا أكثر إنتاجية.

ومؤيدى الصحة العامة الهادفين إلى تحقيق رعاية صحية أفضل للناس، وجماعات الناس منخفضى الدخل الهادفين إلى زيادة الثروة ــ وهلم جرا، فقد شرعت الشركات والحكومات فى تطوير التكنولوجيا النانوية على قدم وساق وبدون أى تحفُّظ.

تبدأ التطويرات بمعدل سريع وخطر، وكل شخص يريد المشاركة فى هذا المشروع الهائل مُرحبًا به. ويتم استخدام المجمعات البدائية الآن لصنع مجمعات أفضل، تستخدم بدورها فى صنع مجمعات أكثر تطوراً، وذلك فى المختبرات وورش الهواة فى جميع أرجاء العالم.

والمنتجات باتت الآن فى طريقها إلى الظهور، وتم القذف بالاقتصاد فى أتون هذه المعمعة.. كما بدأت المعدات العسكرية فى الظهور، وبدأت التوترات النشوء. وجماعة الأبحاث العسكرية التى تتسم بمهارات فائقة يمكنها صنع آلة وحشية ذاتية الاستنساخ، وتبدأ تلك الآلة فى التهام كل ما تصادفه، ووقتها سنموت جميعًا.

هذا سيناريو عبثى، على الأقل جزئيًا لأن التحذيرات المطبوعة موجودة بالفعل. ومنذ ستينيات القرن العشرين، اقتصر التهليل غير الموضوعى لتكنولوجيات جديدة على

بعض الصحف المُوجهة التى اندثرت الآن بأوروبا الشرقية (وأماكن أخرى)، وحتى هناك فإن الكوارث البيئية التى نجمت إثر ذلك، قد أصبحت مثاراً للجدل العام والنقد والتصحيح.

وفى العالم الحر الذى يزداد اتساعًا فى وقتنا هذا، فإنّ المزايا والتكاليف والأخطار المقترنة بأى تكنولوجيا كبرى جديدة سوف يتم بحثها واستعراضها بالتفصيل، وأيضًا شرحها والاعتماد عليها من اتجاهات كثيرة متباينة. ونتيجة لذلك، فقد ننجح فى اتخاذ الخيارات الحكيمة. لكن ثمة شىء واحد مؤكد، هو أن المستغرقين فى التفاؤل لن ينتصروا، ذلك أن المفرطين فى التفاؤل لا ينظرون إلى الحقائق ولا يهتمون بها.

السيناريو الثانى: حجج المتشائمين ودلائلهم

مرة أخرى، نحن الآن فى عالم سيناريو التوقعات العادية، والمجمعات البدائية قد تم تطويرها مؤخراً. ومرة ثانية نرى أن مصير التكنولوجيا النانوية يُنظر إليها بجدية للمرة الأولى.. غير أنه يتم تصويرها أحيانًا باعتبارها تماثل تمامًا ما سبقها، بل وأسوأ منها. ولا ينظر إليها خبراء حماية البيئة باعتبارها بديلا للصناعات الملوِّثة التى انتشرت فى القرن العشرين، وإنما باعتبارها امتداداً للقوة البشرية، ومن ثم لقدرة البشر على الشر وإحداث الضرر والأذى. وحكى البعض قصصًا مروعة عن ضلال التكنولوجيا النانوية لتأييد هذا التصورٍ.

الجماعات المناهضة للتسلح لها مبررها للخوف من التكنولوجيا النانوية وتركز على تطبيقاتها العسكرية. لذا، فإنّ الجماعات المناهضة للتسلح عن طريق تحديد أو نزع السلاح – والمؤمنة بالإستراتيجيات التى تتم فى هذا الصدد من طرف واحد فقط – تعمل لمنع تطوير التكنولوجيا النانوية فى كل مكان يمكنهم فيه ذلك، أى فى كل مكان يدخل فى نطاق سيطرتهم السياسية. ولتعظيم نجاحهم السياسى إلى أقصى حد ممكن، فإنهم يصورونها على أنها تكنولوجيا عسكرية تقريباً ذات قدرات مروعة وخبيثة.

وترى الجماعات ذات المصالح فى الصناعة، التصنيع الجزيئى كتهديد لأنشطتهم التجارية والصناعية وينضمون إلى الجهود التى تمارسها جماعات الضغط، من أجل الحيلولة دون حدوثه، والنقابات، وهى تتجاهل التوقعات بزيادة ثروة وأوقات فراغ أعضائها، تركز بدلا من ذلك على التمزيق المحتمل لهيكل الوظائف المستقرة حاليًا. كما أنهم يقاومون تطور التكنولوجيا الجديدة. ونتيجة لذلك، فإننا نسمع ليس عن كيفية استخدام التكنولوجيا النانوية فى الرعاية الصحية وتنظيف البيئة وصناعة منتجات محسَّنة، وإنما عن التهديد الخادع بظهور آليات عسكرية وحشية صغيرة لا يمكن السيطرة عليها، بحيث تحطم صناعتنا وتدمرها.

وبعد بضع سنوات من المجادلات فى هذا الصدد، تجمَّد الرأى العام فى الدول الصناعية الديمقراطية على مقولة : "نحن ضد تطوير التكنولوجيا النانوية".. غير أن هذا شعار أكثر منه سياسة يمكن تطبيقها. ومع ذلك، فقد صدرت قوانين تؤيد ذلك، وعاد تركيز الجدال العام إلى الأفكار القديمة بشأن الفقر والمرض، والأفكار الحديثة بشأن تغير المناخ وتدمير البيئة. والحقيقة أن الحلول تبدو بعيدة المنال، مثلما كانت دائمًا من قبل. وأى شخص قويم التفكير لن يكون لديه أى شىء ضد التكنولوجيا النانوية، ومن ثم، فإن من يتخذ هذا الموقف هو فقط شخص لا يحظى بفكر ثاقب.

غير أن الجدل المبدئى لم يصبح جديًا وقويًا إلا بعد صنع المجمعات، واستمرت الأبحاث لوقت طويل قبل أن تصدر تلك القوانين. وفى ذلك الوقت، كانت التكنولوجيا النانوية وشيكة، وتكاد أن تبزغ فى الأفق.

إن تطوير التكنولوجيا النانوية هو أساسًا مسألة ابتكار أدوات وأجهزة، تمامًا مثل تطوير الأسلحة النووية. ومنذ عقود من الزمن، انتشرت القدرة على صنع أسلحة نووية من دولة واحدة إلى دولتين أخريين فى مدة ٤٩ شهرًا فقط، وإلى ثلاث دول أخرى خلال الخمسة عشر عامًا التالية، وعلى الرغم من الاحتياج إلى كميات ضخمة من مواد دخيلة وغريبة فى تلك الأجهزة. وفى أواخر ثمانينيات القرن العشرين، شهد العالم بالفعل

تجارة دولية هائلة من المركبات الكيميائية، وعدة آلاف من الكيميائيين الذين يعرفون كيف يخلطونها لصنع جسيمات جزيئية جديدة. ولم يكن هؤلاء يعملون فقط فى مختبرات الأبحاث الجامعية أو مختبرات الأبحاث بالشركات أو مختبرات الأبحاث الحكومية المدنية والعسكرية، بل – كما يبيِّن لنا السوق السوداء للمخدرات المُعدَّلة – فى السر بمختبرات أبحاث إجرامية.

وحتى فى ثمانينيات القرن العشرين، تم صنع مِجهر المسح النَفقِى[1] كمشروع لمدرسة ثانوية فى أحد معارض العلوم بالولايات المتحدة الأمريكية. ولا يوجد شىء غريب أو دخيل على نطاق واسع فى مجال الكيمياء التخليقية أو التركيبية أو فى مجال التحديد الدقيق لمواضع الجزيئات. وفى هذا السيناريو المطروح، تم بالفعل تطوير مجمعات بدائية ونشر تقنيات إنشائها (وهذا أسلوب نمطىّ) بالكتب والمطبوعات العلمية المتاحة للجميع.

وعلى ذلك فإنَّ محاولات كبح جماح تطوير التكنولوجيا النانوية لا تنجح إلا فقط فى الحد من التطوير العلنى التكنولوجيا النانوية. غير أن الحكومات لا تتأكد أن الحكومات الأخرى لا تطورها سراً، وقد سمعت تلك الحكومات الكثير عن احتمالاتها العسكرية التى يستحيل تجاهلها. وفى جميع أرجاء العالم وضعت الحكومات بهدوء برامج أبحاث سرية، بعضها فى دول ديمقراطية والبعض الآخر فى دول استبدادية.

بل إن هناك جهوداً تقوم بها منظمات سرية. وبمجرد توفر مجمع بدائى أو حتى جهاز التشغيل الجزيئى لمجهر المسح الذرى[2] فائق الدقَّة، تصبح التحديات الباقية هى أساسًا فى التصميم. وفى ثمانينيات القرن العشرين زادت قدرة الحواسيب الشخصية إلى الحد الذى تم فيه استخدامها لتصميم الجزيئات. وفى السنوات التى تلت ذلك،

---

(1) Scnning - Tunneling Microscope (STM)

(2) Atomic Force Micro scoope (AFM)

استمر التزايد المطرد فى قدرات الحواسيب. ثم بدأت عناصر معيَّنة من المنتمين إلى الثقافات الفنية والتقنية تنضمّ إلى - خذ مثلا - الفوضويين المتطرفين، الشيوعيين المتطرفين، المؤيدين المتطرفين لحماية البيئة، والعنصريين المتطرفين - فى مشروع يهدف إلى "القضاء على النظام العالمى الفاسد" فى الحكومات والشركات والديانات والبشر أنفسهم أو فى الأشخاص غير البيض والسمر. وعندما تخرج جماعات مسؤولة عن سباق التكنولوجيا، فإنهم يرون فرصة حقيقية للعثور على القوة اللازمة لتغيير العالم.

وهكذا، تمر سنوات فى هدوء نسبى، تتخلله إشاعات عرضية عن نشاط ما أو انكشاف مشروع ما. ثم من اتجاه غير متوقع وخارج عن نطاق السيطرة الديمقراطية، ينطلق فجأة تغير مدمِّر ليجوب أرجاء عالم لم يستعد له. وعندئذ ينهار كل شىء، وتثبت صحة حجج المتشائمين ودلائلهم.

ومع قليل من النجاح، نجد أن هذا السيناريو عبثى هو الآخر. وبالقطع، فإنَّ الجدل العام فى السنوات القادمة سوف يعكس صورة متوازنة عن الفرص والمخاطر التى يحدثها تطور التكنولوجيا النانوية. وسوف ينخرط فى هذا الجدل كثير من المفكرين والمثقفين الذين لديهم أفكار ووجهات نظر متضاربة. وسوف تتضح تماماً عدم الإمكانية العملية لكبح جماح تكنولوجيات من هذا النوع، بما يكفى لإتاحة الفرصة لنا لجعل التطوير علنياً بين أيدى مسؤولة نسبياً.

السيناريو الثالث: التنافس التقنيّ الدوليّ

أدت نسخة معدَّلة من سيناريو التوقعات العادية دورها طوال سنوات كثيرة مضت. وبعد سنوات من الاضطراب المتواصل، فإنَّ النتيجة النهائية هى هكذا: نمت القوة الاقتصادية اليابانية، وفى الوقت نفسه، بدأت الاقتصاديات الآسيوية الأخرى

تغلق الثغرة التى تفصل بينهما. وقد مكنهم استثمارهم الهائل فى أعمال البحث والتطوير المدنية واسعة النطاق، مع التركيز الشديد منذ أواخر ثمانينيات القرن العشرين على المنظومات الجزيئية الهندسية، من احتلال دور الريادة على مسار التكنولوجيا النانوية.

وأدى التكامل الاقتصادى الأوروبى وتوحيد ألمانيا، جنبًا إلى جنب مع ضغط المنافسة الاقتصادية والتكنولوجية بين الولايات المتحدة واليابان، إلى تحوُّل أوروبا إلى الداخل إلى حدٍ ما. وعلى الرغم من أن العلاقات الثقافية مع الولايات المتحدة تحافظ على دفء العلاقات الأمريكية الأوروبية أساسًا، فإن العداء بين أوروبا واليابان - التى كانت متميزة فى ثمانينيات القرن العشرين - زاد. وكانت أوروبا قد تمتعت وقتئذ لوقت طويل بقوة هائلة فى الكيمياء والعلوم الأساسية، وفى أواخر ثمانينيات القرن العشرين قادت الولايات المتحدة تنظيم الجهود فى مجال الإلكترونيات الجزيئية. ووضع ذلك أوروبا فى موقف قوى فيما يتعلق بالتكنولوجيا النانوية بعد اليابان ولكن أمام الولايات المتحدة.

وتظل الولايات المتحدة اقتصاداً منتجًا هائلاً، بيد أن التأثير التراكمى لنظام تعليمى يهمل العلم والشركات التى تركز على نتائجها ربع السنوية نجحت فى لعب دور ملموس. وبعد عقود من التركيز على المدى القصير، يجد الناس أنفسهم الآن يعيشون فى المدى الطويل الذى أهملوه. ولم يكن رد الفعل للكساد الاقتصادى النسبى للولايات المتحدة الاستثمار والتجديد، وإنما كان البلاغة والعداوة الموجَّهة تجاه "الأجانب" خصوصًا اليابانيين. وهكذا، فإن اليابان المنعزلة، والتى فى موقف دفاعى إلى حد ما، هى التى تصنع أول جهاز معالج للجزيئات وتعرف إمكاناته بعيدة المدى. وتم تطوير تلك التكنولوجيا فى مختبر أبحاث تموله الحكومة بالتعاون مع شركات يابانية كبرى. ونتيجة لتزايد التوترات، لم تتم دعوة الباحثين الأجانب - الذين لا يزالون مُرحبًا بهم فى اليابان - للمشاركة فى هذا الجهد الخاص.

وأدت سلسلة من اجتماعات اللجان إلى اتخاذ قرار رسميّ ضمنى تم مبكرًا لاختيار باحثين، واعتبرت السمات المميزة لهذا التطوير الجديد على أنها مصونة ومحمية قانونًا. وتم الإعلان عن نتائج فعالة ومثيرة تثير الإعجاب بالأبحاث اليابانية، ولكن صفات الأساليب المتبعة لهذا التطوير اعتبرت سرًا وبقيت فى طى الكتمان.

وأدت تلك السرية إلى تأخير انتشار هذه التكنولوجيا الأساسية، عقب أول ظهور لها، حتى وكالات التمويل شديدة قِصر البصر، أصبحت تؤيد المشروعات للهدف نفسه. وقد بدأ بالفعل مشروع أوروبى بمختبر فرنسى، وسرعان ما نجح فى صنع مُجمعة اعتمادًا على مبادئ مختلفة نوعًا ما. ويحنو الباحثون الأوربيون حنو نظرائهم اليابانيين فى تلك السابقة، بالحفاظ على تفاصيل تقنياتهم كأسرار شبه محجوبة، وذلك باسم التنافسية الأوروبية. وتتبعت الولايات المتحدة خطاهم بعد عام واحد فى مشروع مولته وزارة الدفاع.

تسير حياة الناس كما كانت تقريبًا من قبل، وتسيطر عليها السلوكيات المتهورة لمنظمى الحفلات الترفيهية والسياسيين، وأيضًا حكايات المصير المحتوم للبيئة أو منظومة التأمين الاجتماعى فى مستقبل خيالى لتكنولوجيات القرن الحادى والعشرين المتوقعة أو المتنبأ بها. وأكثر من ذلك فى الدوائر السياسية ومجالات الإعلام، تستمر المناقشات الجدية للتكنولوجيا النانوية والتصنيع الجزيئى، مع التركيز على ما تعنيه وما يلزم عمله لها.

فى اليابان، بدأت مجمعات الجيل الثانى، فى إنتاج كميات صغيرة من أدوات جزيئية متزايدة التعقيد. وهذه نماذج أولية لمنتجات مفيدة تجاريًا، مثل حاسات، أدوات إلكترونية جزيئية، أجهزة علمية.. وبعضها مفيد مباشرة حتى بسعر مئة دولار لكل جزىء. وهناك مخططات لمجمعات جزيئية على لوحات الرسم يمكنها إنتاج تلك الأدوات بأسعار ضئيلة تقل عن جزء واحد من تريليون جزء من الدولار!. وهذه مخططات بعيدة

المدى (ننظر إليها باعتبارها أملاً نتنبأ به) للتصنيع الجزيئى الكامل القادر على صنع كل شيء تقريبًا بتكلفة قليلة من المواد المألوفة والشائعة.

وهذا شيء مثير، فهو يتعهد بتحرير اليابان على الأقل من اعتمادها لعقود طويلة على التجارة الأجنبية والموارد الخام الأجنبية ولسياسات أجنبية. وعن طريق جعل رحلات الفضاء رخيصة وروتينية، فإنه يتكفل بفتح الكون للناس القابعين فى مجموعة جُزر مزدحمة وتزداد الاستثمارات كثيراً.

أوروبا تقود الولايات المتحدة ولكنها تتأخر عن اليابان ولذا فإنها تنظر إلى التقدم اليابانى بحسد وعدائية. والأوروبيون أيضًا يشاركونهم أحلامهم عن التكنولوجيا الجبارة، وبدأوا سباقًا ليتصدروا الجميع. والولايات المتحدة تتحرك بتثاقل، إلا أن مواردها الهائلة وخبراتها المعلوماتية تساعدها على زيادة سرعتها واللحاق ببقية المتسابقين. كذلك بدأت جهود دول أخرى، وعلى الرغم من أنها تتقدم حثيثا، فإنه لا يمكن لها اللحاق بالقوى الكبرى.

فى جميع الجوانب، نجد أن الاحتمال العسكرى الواضح للتصنيع الجزيئى يعزِّز المصالح العسكرية، ومن ثم البحث والتطوير فى كل من البرامج السرية والمعلن عنها جماهيريًا. ويُجرى الخبراء الإستراتيجيين تدريبات عسكرية ميدانية للتكنولوجيا النانوية فى عقولهم، ومجلاتهم العلمية وحواسيبهم. وهم يخرجون منها يترنحون. وكلما نظروا فى تلك التدريبات العسكرية، عثروا على المزيد من الإستراتيجيات التى تمكن القوة المتفوقة تكنولوجيا من اتخاذ حركة آمنة نافعة أو وقائية - سواء كانت مميتة أو غير مميتة - ضد كل خصومها. والدفاع يبدو ممكنًا من حيث المبدأ، ولكن ليس فى الوقت المناسب.

لكن يصبح من الواضح أن التصنيع الجزيئى يمكن أن يوفر دفاعات ضد التكنولوجيات الأقل تطوراً. وحتى الدرع المضاد للصواريخ، الكبير الأسطورى المحكم

ضد التسرب، يبدو عمليًا، عندما يتوفر لدى المدافعين تكنولوجيا أرقى كثيرًا، ومعدات عسكرية تحقق مزايا فى التكلفة تبلغ آلاف الأضعاف من المرات.

والحقيقة أنه لا توجد قوة كبرى تبدو عدائية بوجه خاص. ففى ذلك الوقت، سيكون الكل قد حققوا تحالفا آمنا لسنوات طويلة. ومع ذلك، فما زالت توجد ذكريات للحروب، ويتعرض التعاون العسكرى للضعف من جراء غياب عدو مشترك وزيادة التنافس الاقتصادى. وتعمل النزاعات والخصومات التجارية فى تكنولوجيات القرن العشرين المتقادمة على إفساد التعاون فى مجالات تطوير وتدبير التكنولوجيات الجديدة للقرن الحادى والعشرين.

هناك آلاف الأسباب لمتابعة الأبحاث والتطويرات العسكرية فى تلك التكنولوجيات، إذ تساعد المنافسة الاقتصادية الوطنية على حفظ سرية هذا العمل من منطلق قومى. وعلى المخططين العسكريين عدم الاهتمام الشديد بالنوايا بل بالإمكانات.

وهكذا، فإن التكنولوجيا التى نمت وتطورت فى جو من التنافس التجارى والسرية لا تلبث أن تنضج فى جو من المنافسة العسكرية والسرية. التكنولوجيا النانوية المتقدمة تصل إلى العالم ليس كتطورات فى الطب أو لاستعادة عافية البيئة أو كأساس لثروة جديدة، وإنما كمنظومة عسكرية تتطور وسط نظام تسليح متنوع متطور، وذلك لهدف سرى هو استخدامه لأغراض الدفاع الوقائى. وعندئذ تسير المفاوضات والتطويرات جنبًا إلى جنب كفرسىّ رهان، ووقتئذ.

السيناريو الرابع: الترابط المنطقى الكافى

من جديد، أقول بأن عالمنا هو صورة ما من سيناريو التوقعات العادية، إلا أن البيئة الدولية تكون فى موقف أفضل منه. فعلى الرغم من الاحتكاكات التجارية، فقد استمر التكامل الاقتصادى العالمى. وأوروبا والولايات المتحدة واليابان لكل منها

مصلحة فى رفاهية ورخاء الأخرى، وهم يدركون هذا الأمر. وما زال التعاون العسكرى الدولى مستمراً، جزئيًا كثقل موازنة واع للصراعات التجارية. وقد نما التعاون الدولى فى مجال الأبحاث، والذى حفز ذلك جزئيًا هو رغبة اليابانيين فى تنمية روابط دولية متينة. إن نهاية الحرب الباردة جعلت برامج الأبحاث العسكرية السرية أقل اعتياداً.

وتلك هى البيئة التى تم فيها تطوير المجمعات البدائية، ولا يُشكل أى فرق أبدا من الذى يصل إلى الهدف منها أولا. وكما هو نمطى فى الأبحاث الأساسية، فإنّ الجماعات تنشر نتائجها بالمطبوعات المتاحة للجميع، وهى تتنافس مع بعضها البعض لكسب تأييد نظرائهم داخل البلاد وخارجها وإقناعهم بروعة إنجازاتهم.

أثار ظهور المجمعات الأولى مناقشات عميقة وجادة حول التكنولوجيا النانوية وتداعياتها، وهذا الجدال مفتوح ومتوازن بشكل معقول للجميع. ويغطى هذا الجدال النتائج العسكرية والطبية والبيئية، مع التركيز الأساسى على كيفية رفع التصنيع النظيف الكفء لمستوى الثروة، وانتشاره فى جميع أرجاء العالم.

يتأمل المحللون العسكريون تأثير التصنيع الجزيئى ومنتجاته المحتملة، ونجد أن اهتماماتهم وجوانب قلقهم كثيرة وخطيرة، ومن ثم، فإنهم يقومون ببرامج أبحاث سرية. ولكن كالعادة، فإن السرية تبطئ من الاتصالات بين الباحثين، فأولئك العاكفون على البرامج السرية يتأخرون كثيراً وراء نظائرهم الذين يعملون فى النور والذين تتخطى المعلومات الرسمية المتاحة لهم حدود المجلات المتخصصة المنشورة.

بعض القوى تدفع المنافسة إلى الأمام، بينما تعمل قوى أخرى على دفع آفاق التعاون إلى الأمام. وهنا يظهر نمط مفيد وفعال. فأولئك الذين يصنعون القرارات والعاكفين بكل جدية على التكنولوجيا النانوية هم بالتحديد أولئك الذين يرون أوهى الأسباب للصراع الدولى المستقبلى بين الدول الديمقراطية. إنهم لم يعودوا يتوقعون نمو الصراعات فى ظل تناقص الموارد وعدم تساوى توزيع الثروات والتلوث الجوى

العالمى. إنهم يرون ما يمكن أن تفعل التكنولوجيا النانوية لتلك المشاكل، بدون قيام أى شخص بأخذ شىء ما من شخص آخر. وهكذا، ومن جميع النواحى، فإن أولئك الذين يأخذون التكنولوجيا النانوية بجدية أكثر هم الأشد ميلا للبحث عن الحلول التعاونية أو المشتركة للمشاكل التى تطرحها. وهناك بالطبع استثناءات، ولكن أكثرية الآراء ضدها وكذلك، فإن أفكارها لا تسيطر على السياسة المهيمنة.

إن الجدل العالمى بخصوص التكنولوجيا النانوية يتزايد، وينتشر فى كل مكان. ويطرح المتحمسون الكثير من التطبيقات الرائعة لهذه التكنولوجيا. وسرعان ما يتم رفض بعضها باعتباره مستحيلاً أو على الأقل غير مرغوب فيه. وبعضها تضمن تطويرات عملية للتكنولوجيا المروعة للقرن العشرين، وتلك تم تطويرها وتطبيقها بمجرد أن تصبح ممكنة تقنيًا والبقية أصعب فى تقييمها، ولكن فى غضون بضع سنوات من العمل الجاد والدراسة الواعية سوف يتم تطوير بعضها وتبنيه. بينما يتم رفض البعض الآخر.

فى البداية، اقترح بعض الناس إيقاف تطور التكنولوجيا النانوية، لكنهم لم يطرحوا قط طريقة معقولة لتنفيذ ذلك. ويبحث الواقعيون الذين يراقبون الاضطراب التكنولوجى الدولى عن خيارات أخرى للتعامل مع تلك الأخطار.

ولو أخذنا الديمقراطيات الصناعية فى العالم مع بعضها البعض، لوجدنا أنها تشكل الريادة الحاسمة، فقد طوروا آليات للتنسيق بين التكنولوجيات والسيطرة عليها بالقدرات العسكرية، وذلك من خلال تنظيم عملية التجارة والانتقال التقنيتين. وقد تم تطوير تلك الآليات وتجربتها وشحذها طوال عقود من ممارسة الحرب الباردة، ليس فقط بالتكنولوجيات النووية وتكنولوجيات القذائف النووية، وإنما أيضًا بفيضان من المنتجات والأجهزة عالية التكنولوجيا. وتلك الآليات ليست مثالية، لكنها بالتأكيد مفيدة.

وفيما يتعلق بالمخاوف من تصاعد الاضطرابات وحالات عدم الاستقرار الدولية، فإن الديمقراطيات الصناعية تعمل من أجل تحسين العمل الجماعي لفرقها، فهى تدعم النمط التقليدى للتجارة الحرة والتنسيق داخل الأنشطة المتشابهة، والتى تساهم فى هدف مشترك وتقوية التنظيمات التى تمنع وصول التكنولوجيات الأساسية إلى أيدى الحكام المطلقين الباقين فى العالم.

ونتيجة لتلك التطويرات، يزداد نضج التكنولوجيا النانوية فى ظل جو يسيطر عليه التعاون الاقتصادى أكثر من التنافس العسكرى. وأصبح تركيز السياسة أساسًا على التطبيقات المدنية، مع توجيه اهتمام لا بأس به إلى التهديدات العسكرية المحتملة. ويتم تدعيم الثقة بواسطة "التفتيش المتبادل" التلقائى الذى يشكل جزءًا طبيعيًا من الأبحاث والتطويرات المشتركة.

لكن تبقى قرارات صعبة، حيث يزداد ارتفاع الصيحات والمجادلات، من خلال وسائل الإعلام الدولية. ولكن حيث تكون المشكلة واضحة، ويكون بقاء العالم ورفاهيته فى خطر كبير، يتم اتخاذ القرارات الضرورية، وفى الوقت نفسه يتحقق تماسك دولى قوى يكفى لتنفيذها.

وتمر السنوات وتنضج التكنولوجيات، وتتحسن صحة الناس وتزداد ثرواتهم، ويبدأ الغلاف الحيوى فى التعافى. وعلى الرغم من الاضطراب والألم المصاحبين للتغير وعلى الرغم من أصوات تقول: "لقد كانت الأحوال أفضل فى الزمن الماضى" -على الأقل بالنسبة إليهم، وعلى الرغم من الخسائر الحقيقية، فإن الكثير من الناس ذوى النوايا الحسنة، يمكنهم النظر إلى العالم وتأمل أحواله والتحقق من أن هذا التغيير ككل هو تغيير إلى الأفضل.

إن معارفنا الحالية عن الجزيئات والمادة تكفى لإعطاء صورة جزئية عما سوف يتمكن التصنيع الجزيئى من عمله مستقبلا. وحتى هذه الصورة الجزئية تُظهر لنا الإمكانات والقدرات التى تجعل من أفكارنا القديمة التى سادت فى القرن العشرين، أفكارًا عتيقة لا جدوى منها.

العلم و التكنولوجيا يتطوران باتجاه التصنيع الجزيئى عبر جبهات متعددة، فى مجالات الكيمياء والفيزياء وعلم الأحياء وعلوم الحواسيب وتتراوح دوافع الاستمرار من الدوافع الطبية إلى العسكرية إلى العلمية. والأبحاث فى تلك المجالات تجرى بالفعل على قدم وساق فى جميع أرجاء العالم، وقد بدأت لتوها تركز على أهداف التكنولوجيا النانوية.

وبالفعل، من السهل وصف كيف يمكن الجمع بين الأجهزة والمبادئ المعروفة لبناء جهاز بدائى قادر على توجيه التجميع الجزيئى. ولكن التنفيذ الفعلى لذلك، لن يكون بتلك السهولة - فالأبحاث المختبرية ليست سهلة بالمرة - لكن سوف يتم تحقيقها، ولن يستغرق هذا سنوات طويلة للغاية.

المجمعات البطيئة الأولى سوف تقودنا إلى منتجات تشمل مجمعات أفضل من سابقتها. والأجهزة القادرة على ضم الجزيئات مع بعضها البعض لصنع أجهزة جزيئية، سوف تقودنا إلى اتجاه التكاليف التى تنخفض باستمرار، وبالإضافة إلى تحسُّن الجودة، بما يُفضى فى النهاية إلى نتائج متعددة يريدها الناس بقوة، مثل بيئة أنظف، والهرب من الفقر، والرعاية الصحية التى تُشفى الناس. وسوف يُصاحب تلك المزايا تغيرات مضطربة وخيارات متقلبة، مثلما الحال مع أى قدرة جديدة. وأيضًا سوف تتسارع وتيرة التغير، مما يلهب ظهر المؤسسات التى أنشأناها لكى تساير الأوقات المتقلبة الهائجة.

غير أن إمكانات التصنيع الجزيئى وقدراته لن تلبث أن تُسلم نفسها إلى الانتهاك وإساءة الاستخدام، وبخاصة، تمكن أولئك الباحثين عن السلطة والقوة من صنع أسلحة. ولتقليل خطر حدوث مثل هذا الانتهاك، فإننا بحاجة إلى تأسيس قاعدة عريضة من التعاون والتنظيم الدوليين. ومحليًا، يبدو أن هذا التركيز هو أفضل وسيلة لتجنب الاستقطاب بين أولئك المعنيين بحل المشاكل القديمة وأولئك المعنيين بتجنب المشاكل الجديدة. ودوليًا، فإنه يبدو أفضل طريقة لتجنب وجود جانب مروع فى سباق التسلح الجديد.

وكما تبين لنا السيناريوهات الأربعة التى عرضناها لتونا، فإن الرأى العام سوف يشكِّل السياسة العامة ويساعد على تحديد ما إذا كانت هذه التكنولوجيات ستستخدم للخير أم للشر. وسوف تتناول خاتمة الكتاب الموقف الفكرى الحالى وما الذى يمكن عمله للدفع به فى اتجاه إيجابى.

نحن لا نستطيع التنبؤ بالمستقبل، كما لا نستطيع التنبؤ بنتائج أفعالنا وأعمالنا. ومع ذلك فإن ما سنفعله سوف يشكل فرقًا، ويمكن أن نبدأ بمحاولة تجنب كل خطأ كبير يمكننا تحديده. وفيما وراء ذلك، يمكن أن نحاول فهم موقفنا ونقيم مفاهيمنا الأساسية، ونختار أفعالنا مع الحكمة فى السيطرة عليها. والخيارات التى سوف نتخذها فى السنوات القادمة سوف تشكل مستقبلاً يتحلق بإطار يتجاوز كل ما يمكن أن نتخيله، مستقبلاً ممتلئًا بالأخطار وأيضًا ممتلئًا بوعود مبشرة. ولقد كان الحال دائما هكذا.

الخاتمة

الشروع فى العمل

الجنس البشرى الآن فى سبيله إلى تحقيق تحوُّل تاريخى هائل، وذلك بالسيطرة التامة والرخيصة على تركيب المادة، وكل ما يترتب على ذلك فى مجالات الطب والبيئة وأيضًا أسلوبنا فى الحياة. وما يحدث قبل هذا التحول وأثنائه سوف يُشكل اتجاهه ومعه مستقبل البشرية.

لكن تُرى هل يستحق ذلك كل هذا الاهتمام؟ انظر إلى بعض القضايا المهمة التى تشحذ همم الناس لكى يواجهوها معًا:

◉ الفقر	◉ السلالات المُهددة بالانقراض
◉ منظومات التسليح	◉ الحرية
◉ إزالة الغابات والأشجار	◉ الوظائف
◉ النفايات السامة	◉ الطاقة النووية
◉ الأمن والضمان الاجتماعى	◉ طول أعمار البشر
◉ الإسكان	◉ التنمية العمرانية
◉ الاحتباس الحرارى	◉ الأمطار الحمضية
◉ أمراض الإيدز والزهايمر والقلب والرئة والسرطان... إلخ	

كل واحدة من تلك القضايا تستنفذ جهداً كبيراً، وكل واحدة منها ستتحول تماماً بواسطة التكنولوجيا النانوية وتطبيقاتها. بالنسبة إلى الكثير من تلك القضايا، فإن التكنولوجيا النانوية، سوف تطرح أدوات يمكن استخدامها لتحقيق ما كان الناس يكون ويجتهدون للوصول إليه. وبالنسبة إلى الكثير من نفس تلك القضايا، فإن انتهاك التكنولوجيا النانوية يمكن أن يطمس أى شىء يتم تحقيقه.

وثمة رفيق لفكرة "فكر على المستوى العالمى، وتصرف على المستوى المحلى" هو فكرة "فكر فى المستقبل وتصرف فى الوقت الحاضر". فإذا تمكن كل منا من تجاهل المشاكل قصيرة الأجل والموضوعات العامة الحالية، فسوف تكون النتائج كارثية. غير أنه ليس ثمة خطر من جراء هذا الأمر. إذ إن الخطر الأكثر احتمالا عكس ذلك. إن العالم يتجه الآن مباشرة إلى انتقال مدمر يتعرض فيه كل شىء إلى الخطر، ومع ذلك فإن ٩٩.٩٪ من الجهد والاهتمام البشرى سوف ينصب، إما فى المشاكل قصيرة الأجل أو فى الإستراتيجيات طويلة الأجل المرتكزة على مستقبل خيالى قائم على إرباك تكنولوجيا القرن العشرين.

إذن ما المطلوب عمله؟.. بالنسبة إلى الناس المهتمين أساسًا بالشعور الجيد والمُريح وليس العمل الجيد والمفيد، نجد أن الإجابة بسيطة: اذهب إلى الشعور الدافئ المُطمئن الذى يتولد من إضافة المزيد من المساعدة إلى إحدى القضايا العامة المهمة بالفعل. وسوف يكون هذا الإشباع فوريًا، حتى إذا كانت المشاركة صغيرة. أما بالنسبة إلى الناس الأكثر اهتمامًا بالعمل الجيد المفيد – الذين يشعرون بالراحة فقط إذا التزموا بإمكاناتهم أو عاشوا فى حدودها، فإن الإجابة أقل بساطة: هو عمل أفضل شىء والبحث عن قضية مهمة لا يشجعها الكثير من الأناس المبتهجين، وهذا مشروع تعتبر مشاركة المرء فيه أمرًا يُشكِّل تلقائيًا فارقا كبيراً.

والآن، يتوفر للجميع خيار واضح بشأن أين ننظر. إن المزايا والعيوب المحتملة للتكنولوجيا النانوية تخلق آلاف الفرص للبحث والمناقشة والتعليم ومباشرة الأعمال

التـجـاريـة الخطرة والمراوضـة[1] والتنمـيـة والتنظيم وهلم جـرا - ومن ثم التـجـهـيـز والاستعداد لها ومباشرتها. ويجوز أن تتراوح مشاركة المرء من الالتزام بمهام عمله إلى التشجيع والمساعدة الكلامية، فكلا هذين الأمرين يصنع فارقًا فى المكان أو الحال الذى سينتهى إليه العالم.

أهمية المعتقدات والأفكار

مـا يفعله الناس يعتمد على مـا يعتقدونه ويؤمنون به. والطريق إلى عالم مسـتعد للتعامل مع التكنولوجيا النانوية يبدأ بمعرفة أنها تمثل مفهومًا حقيقيًا.

لكن تُرى ماذا يمكن أن تكون الاستجابة إلى فكرة جديدة وعريضة وشاملة مثل التكنولوجيا النانوية، إذا كانت حقيقية؟.. نظرًا لأن مفهوم التكنولوجيا النانوية لا يقع ضمن أى تخصص تقنى موجود حاليًا، فإن أى شخص ليس مؤهلا ولا مُفوضًا لطرح تقييم رسمى وحاسم له. وفى الوقت الحاضر لا يمكن للتصنيع الجزيئى المتطور أن يتم بالمختبر، ولذلك ليس مهمًا أن يقوم العلماء بأداء دورهم فى عملية البحث والتمويل النمطية. بيد أن بعض العلماء والمهندسين سوف يهتمون بهذا الأمر وينظرون ماذا يمكنهم عمله من أجله وتقديم العون له. وقد أعلنت مجلة أخبار العلم (SCIENCE NEWS) فى تغطيتها لأول مؤتمرًا كبيرًا بخصوص هذا الموضوع - ما يلى : "عاجلا أو آجلا، سوف سيبزغ فجر عصر التكنولوجيا النانوية". والحقيقة أن هذا هو ما حدث بالفعل.

لكن ماذا لو كانت هذه الفكرة خاطئة؟.. بعض العلماء والمهندسين الفضوليين، محبى الاطلاع والتعلم، سرعان ما يكشفون خطأ قاتل فى تلك الفكرة. وبما أن التداعيات المتدفقة للتكنولوجيا النانوية تجعل الكثير من الناس غير مرتاحين، فإن أى

---

(١) محاولة التأثير على المسئولين الرسميين فى صالح مشروع ما أو ضده. (المترجم)

حُجة مضادة معقولة سوف تنتشر سريعًا، وسرعان ما تصبح على ألسنة الجميع الذين سيفضلون عندئذ رفض المشروع كله أو إنكاره.

لكن لم يسمع أحد حتى الآن بمثل هذه الحجة المضادة. والسبب الأكثر احتمالا هو أن التكنولوجيا النانوية فكرة سديدة وحقيقية. ولقد تغيرت ردود الفعل من أنها فكرة تافهة" إلى "أنها فكرة واضحة". وقد شاع الآن الاعتراف بتلك القضية والفهم العام لها. وعندما تنبثق التكنولوجيا النانوية من عالم الأفكار وتظهر فى عالم الحقيقة الفيزيائية، وقتئذ علينا أن نكون مستعدين. ولكن ما الذى يتطلبه ذلك؟.. لكى نفهم ما ينبغى علينا عمله اليوم، فالأفضل أن نبدأ بالمدى الطويل ثم نستدير عائدين إلى الحاضر.

أين يجب أن نكون

عندما ينغمس العالم فى عملية فهم التصنيع الجزيئى واستيعابه بعد سنوات من الآن، فالأفضل أن يكون الناس مستعدين لذلك، وأن يتوافق الموقف العالمى مع التطبيقات المشتركة الآمنة له - وسوف يكون التقدم العالمى المتوازن أفضل من سيطرة دولة واحدة على الأمر كله. والتطور المشترك سوف يكون أفضل من التنافس التكنولوجى، كما أن التركيز على الأهداف المدنية سوف يكون أفضل من التركيز على الأهداف العسكرية - والجمهور الأكثر معرفة ووعى والمساند للسياسات الصحيحة سوف يكون أفضل من الجمهور المروّع المساند لمخططات نصف مدروسة.

كل تلك الأهداف سوف تتم العناية بها، لو لم يضطر السياسيون إلى التصرف بغباء، أى إذا كانت حالة الرأى العام تسمح لهم باتخاذ القرارات الصحيحة، وربما حتى جعل القرارات الخاطئة مكلفة سياسيًا. والهدف الرئيسى من هذا واضح تمامًا:

أن يصبح بالعالم أكبر عدد من الناس الذين يفهمون أساسًا ما الذى يحدث، والتصوُّر العام لكيفية تحقيق مستقبل أفضل، وفهم واسع لما ينبغى عمله (أو لا ينبغى عمله) للوصول إلى هذا المستقبل. وسوف يكون الإطار العام لأى سيناريو إيجابى قريبًا مما يلى:

استعرضت الجماعات والوكالات البيئية القضية التى أثارتها التكنولوجيا النانوية، وهى تعرف التطبيقات التى تريد تشجيعها والانتهاكات التى تريد منعها. وبالمثل بحثت المنظمات الطبية واتحادات المتقاعدين وإدارات الضمان الاجتماعى، القضايا التى أثارتها الرعاية الطبية والإنتاجية الاقتصادية فائقة التحسن، وهى جاهزة الآن بتوصياتها للسياسات المرجوة. ومثل ذلك فعلت الجماعات الاقتصادية بالقضايا الاقتصادية، والآن أصبحت جماعات الرقابة على العمليات الاقتصادية جاهزة لعرض سياسات تخدم أساسًا مصالحًا خاصة. ودرست الجماعات العمالية تأثير إعادة هيكلة اقتصادية عالمية عميقة فى المجالات الاقتصادية على الوظائف ودخول أفرادها، ولديها اقتراحات لتقليل أثر تلك الصدمة بدون تخفيض الإنتاجية. كما استعرض الزعماء الدينيين الأبعاد الأخلاقية لكثير من التطبيقات. وهم جاهزون لتقديم نصائحهم. وقد قام المحللون العسكريون وخبراء السيطرة على الأسلحة عملا هائلا بالتفكير الدقيق فى سيناريوهات إستراتيجية، وتمكنوا من استنباط مجموعة من السياسات المتفق عليها للحفاظ على الاستقرار. وجعلت الجمعيات والوكالات الدولية من التكنولوجيات الجديدة بؤر للمجادلات والتخطيطات، وارتكازًا على مناخ فكرى صحى منفتح، بمباشرة جهودًا دولية مشتركة.

وبشكل عام، فإن العملية المعقدة للتكيف مع التغيير، استنادًا إلى إطار عريض من الرأى العام المستنير والسياسات الرشيدة، تسير بشكل جيد إلى حد كبير. ففى كل مجال تلو الآخر، شرعت جماعة تلو جماعة فى العمل المكثَّف اللازم للتوصل إلى سياسات تنمى مصالحهم الحقيقية وتطورها، بدون أن تدمر مصالح أى شخص أو

طرف آخر. وهذا الأسلوب معقول ومقبول بأكثر مما توقع الكثيرون، ذلك أن التصنيع الجزيئى يجعل الكثير من الخيارات الإيجابية ممكنة. وبالطبع، ما زالت هناك معارك كبيرة ستحدث، ولكن هناك أيضًا كمًا كبيرًا من الاتفاق.

وخلال هذه الفترة الانتقالية، يعكف بشدة بعض الناس على تطوير وتوجيه التكنولوجيات، إلا أن أكثر الناس يعملون أو يقومون بأدوار مواطنين أو مستهلكين أو عمال أو أصدقاء وأفراد أسرة. إنهم يشكلون ما يحدث فى العالم الواسع بأصواتهم ومشاركاتهم ومشترياتهم. إنهم يشكلون ما يحدث فى أسرهم ومجتمعاتهم بما يقولونه وما يفعلونه وبالاستثمارات التعليمية التى يضخونها أو يدعمونها. إنهم بخياراتهم يحددون ما الذى تعنيه التكنولوجيا النانوية فى الحياة اليومية.

كيف نصل إلى هناك

عالم كهذا، يحتاج الوصول إليه إلى سنوات من التحضير، إذن ما الذى يمكن للناس عمله فى غضون السنوات القادمة للمساعدة على ظهور مثل هذا العالم، وتحسين المشهد العام من أجل حدوث انتقال آمن ومفيد باتجاه تكنولوجيات جديدة؟.. فى الوقت الحالى، المهمة الكبرى أمامنا هى نشر المعلومات بين الناس.

الناس الموجودون فى المنظمات الحالية يمكنهم تشجيع زملائهم نحو تقييم التكنولوجيا النانوية والتصنيع الجزيئى. ولعل البداية الجيدة هى تعريف الآخرين بالمؤسسة بهذه الأفكار، وشرح البعض من تداعياتها. وتعتمد أنشطة المتابعة على طبيعة المجموعة ومواردها وأهدافها.

وفى الوقت الحالى، يبدو أن وضع مسودة للوائح الجديدة والضغط على أعضاء المجلس النيابى... إلخ، هى أشياء محدودة التأثير. وفى الوقت نفسه، فإن إدخال التكنولوجيا النانوية فى عملية التخطيط هو أمر فات ميعاده الآن. إننا ندعو المنظمات

الحالية، والتى تهتم ببعض المشاكل فى مجالات الطب والاقتصاد والبيئة والقضايا الأخرى للسياسة العامة، لكى يُدرجوا التكنولوجيا النانوية ضمن جداول أعمالهم، والانضمام إلى المجادلات السياسية المعقولة بشأنها، وأخيرًا تنفيذها.

تقوم بعض الجماعات ببحوث مناسبة، والكثير منها يمكنه التأثير فى اختيار المشروعات بحيث تتفق مع منظومات التصنيع الجزيئى أو تعزِّز أهدافها ولأخذ التكنولوجيا النانوية بجدية حقيقية، يتعين على بعض الجماعات البحثية بناء معالج أو مشغل جزيئى فعال أو مجمع بدائى. ويتطلب ذلك فريقًا متنوع الخبرات والكفاءات وسنوات من العمل وتكلفة كلية لا يُرجَّح أن تتجاوز عُشر ميزانية رحلة طيران واحدة لمكوك الفضاء الأمريكى.

ويمكن لباحثين آخرين المساعدة بطرح دراسات نظرية أخرى لما يمكن أن تجعله العمليات المتطورة للتصنيع الجزيئى والتكنولوجيا النانوية ممكنًا. وهذه الدراسات يمكنها مساعدة المجموعات على معرفة ما الذى يمكن أن يتوقعوه فى مخططاتهم.

بعض العلماء والمهندسين سوف يريدون توجيه مجالات عملهم الوظيفى إلى مجال التكنولوجيا النانوية. والمزيد من الطلبة سوف يريدون دراسة مجموعة مشتركة من مجالات الفيزياء والكيمياء والهندسة، مما سوف يجهزهم للمشاركة.

إننا نشجع الناس، الذين يتمتعون بالتفكير الصائب والسليم وحسن النية، بالمشاركة فى تطوير التكنولوجيا النانوية. وبالنسبة إلى أولئك الذين لديهم - أو يمكنهم الحصول على - الخبرات الفنية الضرورية لكى يمكنهم المشاركة فى تطويرها، فإنها طريقة ممتازة للتأثير على كيفية استخدامها، وأيا كانت الظروف، فإن الخبراء الفنيين فى مجال ما، لديهم تأثير غير متناسب على السياسات الأخرى ذات العلاقة.

وخلال تلك السنوات، سوف تزداد الحاجة إلى المنظمات العامة التى تهدف إلى التعليم العام وبناء قاعدة للعمل السياسى. وتوفر بضعة آلاف من الناس الجاهزين

لكتابة خمسة خطابات إلى المجلس النيابى فى سنة جوهرية معينة يمكن أن يصنع الفارق بين عالم يعمل وعالم دمرته التأثيرات طويلة المدى لمشروع قانون قصير النظر.

ما يحدث سوف يعتمد على ما يفعله الناس، وما يفعله الناس سوف يعتمد على ما يؤمنون به. إن العالم يتشكَّل أساسًا بحالة الفكر.. أى أفكار الناس عما سيحدث وما لا يجب أن يحدث، وما ينجح وما لا ينجح، وما هو مربح ومفيد وما هو غير مربح أو مفيد لهم ولعائلاتهم وأعمالهم التجارية ولمجتمعاتهم وللعالم بأسره. وحالة الرأى هذه - كما يُعبر عنها ما يقوله الناس لبعضهم البعض، وما إذا كانت أعمالهم تتفق مع كلماتهم - تشكل القرارات اليومية. وخلال تلك السنوات، فالمهم أساسًا ما يقوله الناس لبعضهم البعض عن المستقبل، وكيف يتحقق له النجاح.

البدء في العمل

لو توفرت لنا مساعدة من تكنولوجيات جديدة، فبوسعنا تجديد العالم، وليس معنى ذلك أن نجعله مثاليًا، أو نقضى تمامًا على الخلافات والنزاعات، أو أن نتمكن من تحقيق كل حلم نتخيله، وإنما المقصود هو التخلص من مشاكل ومتاعب وآلام كثيرة، بعضها قديم وبعضها حديث. ومع التحضير الجيد. لعله يمكننا حتى أن نتجنَّب خلق مشاكل ومتاعب جديدة كثيرة لتحل محلها.

لكن من المسؤول عن محاولة إحداث ذلك؟.. إنهم أولئك الذين يريدون محاربة الفقر، والحصول على نصيبهم من المزايا القادمة، إنهم الذين ينضمون إلى مغامرة كبرى، ويقابلون أناسًا يهتمون بشأن المستقبل، إنهم من يحفظون السلالات الحية من الانقراض ويعيدون العافية إلى كوكب الأرض ويُعالجون المرضى، إنهم أولئك الذين

يكونون فى الصدارة ويعملون على تأسيس تعاون دولى خلاق، إنهم من يعرف المزيد عن التكنولوجيا ويحارب المخاطر ويغيِّر العالم، وليس بالطبع من الضرورى أن يعمل كل أولئك مع بعضهم البعض، أو أن يعملوا جميعًا فى نفس الوقت.

ولكن يمكنك المشاركة فى التعامل مع المشكلة الرئيسية الآن، ونقص المعرفة والمعلومات، عليك بتشجيع أصدقائك لكى يقرأوا الكثير فى هذا الموضوع. وإذا أعجبك هذا الكتاب، لم لا تعيره لشخص ما ليقرأه.

يقوم معهد "فورسايت" بنشر المعلومات ورعاية المؤتمرات الخاصة بالتكنولوجيا النانوية ونتائجها. ويوفر ذلك قناة إخبارية ومعلومات فنية ومجادلات لسياساتها العامة، ويمكنها مساعدتك على الاتصال بالأشخاص والمنظمات الفعالة فى هذا المجال. ولكى تبقى على اتصال بالتطورات التى سوف تشكّل مستقبلنا جميعًا، الرجاء الاتصال كتابة أو هاتفيًا بالعنوان التالى:

The Foresight Institute

PO Box 61058

Palo AltoCA 94306

415 - 324 - 2490

Electronic mail: foresight@cup.portal.com

المزيد من القراءات

تعد القوائم التالية مصادر إضافية للمعلومات غير التقنية، عن التكنولوجيا النانوية والموضوعات ذات العلاقة (وللمزيد من القوائم التقنية، ارجع إلى الببليوجرافيا التقنية).

معهد (فورسايت)

هذه المنظمة التى لا تهدف للربح، تم تأسيسها لمناقشة الفرص المتاحة والتحديات التى تطرحها التكنولوجيا النانوية والتكنولوجيات الأخرى القوية المتوقعة. والإصدارات المتوفرة، تتضمن الرسالة الإخبارية "المعلومات المستحدثة"، وسلاسل اتجاهات الأحداث المحيطة، وتقارير وأبحاثًا غير دورية، وشرائط تسجيل للمؤتمرات. والطلبة والآخرين الذين يخططون لإجراء أبحاث مستقبلية فى مجال التكنولوجيا النانوية، يمكنهم طلب نشرة "بيانات موجزة رقم ١: دراسة التكنولوجيا النانوية". فى المؤتمرات التى يعقدها رعاة معهد (فورسايت) لمناقشة القضايا الفنية والسياسية، والتى تطرحها التكنولوجيا النانوية. والقراء الذين يعنون بالسلالات المهددة بالانقراض، يجب عليهم الاستفسار والاطلاع على مشروع السجل الحيوى.

محركات الخلق

قدوم عصر التكنولوجيا النانوية

تأليف: ك.إريك دريكسلر

هذا الكتاب عن التكنولوجيا النانوية (New york: Doubleday 1986) ويقدم ذلك الموضوع من منظور أكثر تجريدًا ويغطى مدى زمنيًا طويلاً. ومن بين الموضوعات التى تتم مناقشتها فى الكتاب، علاقة التكنولوجيا النانوية بالمعرفة العلمية بصفة عامة، وتطور الأفكار والذكاء الاصطناعى، والعمر الزمنى للإنسان، وحدود النمو، واستعادة عافية البيئة، ومنع إساءة استخدام التكنولوجيا، والتطور فى مجال الفضاء، والحاجة إلى تكنولوجيات اجتماعية جديدة، مثل نشر النصوص الفائقة HTML ووسائل النقاش المفتوحة للمعلومات، وكلها تهدف إلى مساعدتنا على التعامل مع التغير التكنولوجى المتلاحق. يمكن الحصول على هذا الكتاب فى بريطانيا من Fourth Estate، وفى اليابان من Personal Media (تحت عنوان "الأجهزة التى تخلق: التكنولوجيا النانوية").

كتب أخرى ومقالات

(1) Atkins, P. W. Molecules. New york: Scientific American Library Series #21, 1987.

(١) يتميز هذا الكتاب بأسلوبه المشوق وبرسوماته المتعددة، ويعد بمثابة مقدمة للعالم الجزيئى، موضحًا الكثير من الجزيئات فى استخداماتها اليومية.

(2) Bennett ،james C. Creating Competitive Space Trade: A Common Market for Space Enterprise. Santa Monica ،CA: Reason Foundation Policy Study No. 123 ،August 1990.

(٢) يقترح إطارًا لتنظيم تكنولوجى عالمى، يكون بمقدوره أن يمتد إلى التكنولوجيا النانوية.

(3) Brand ،Stewart. The Media Lab: Inventing the Future at Mit. New York: Viking ،1987.

(٣) يقدم شرحًا نابضًا بالحياة للعمل المختبرى، ومجسدًا تكنولوجيات المعلومات، التى سوف نستخدمها فى عالم المستقبل.

(4) Burgess ،Jeremy. Microcosmos. New York: Cambridge University Press ،1987.

(٤) مجموعة من الصور الرائعة عن عالم الميكرو (واحد على مليون من أى مقياس).

(5) Burnham ،John C. How Superstition Won and Science Lost. New Bruns-wick ،NJ: Rutgers ،1987. Tells the story of scientists' declining effort.

(٥) يحكى قصة العلماء الذين فشلوا فى إيصال نتائج مجهوداتهم للعامة، وما نتج عن ذلك من تناقص الإدراك العام (الذى يؤدى فى نهاية الأمر إلى خلل فى السياسة العامة).

(6) Drexler ،K. Eric. "Exploring Future Technologies," in Doing Science: The Reality Club ،ed. John Brockman. New York: Prentice-hall ،1991.

مقال يشرح فيه الكاتب أسلوب الهندسة الاستكشافية لإدراك احتماليات التكنولوجيا المستقبلية.

(7) Drexler ،K. Eric. "Technologies of Danger and wisdom," in Directions and Implications of Advanced computing ،Vol. 1. Jonathan p. Jacky and Douglas Schuler ،eds. Norwood ،NJ: Ablex ،1989. This essay dis-

(٧) يناقش هذا المقال، كيف يمكن لتكنولوجيات الحاسوب، أن تستخدم لتقوية الآليات الاجتماعية، للتعامل مع المشاكل المعقدة. وينبنى هذا المصنف على أول مؤتمر أساسى عن "خبراء الحاسوب للمسؤولية الاجتماعية".

(8) Milbrath ،lester. Envisioning a Sustainable Society. Albany ،NY: State University of New York press ،1989 . A broad work that includes a

عمل شامل يتضمن مناقشة موجزة عن التأثيرات المتوقعة للتكنولوجيا النانوية.

(9) wildavsky ،Aaron. Searching for Safety. New Brunswick ،NJ: Transaction publishers ،1988.

يوثق هذا الكتاب، لكيفية أن استخدام التكنولوجيات الجديدة، تستطيع - بالفعل - أن تقلل من المخاطر القديمة بسرعة أكبر، مما يمكنها إنتاجه من مخاطر جديدة، وكيف يمكن لكلٍّ من القليل جداً أو الكثير للغاية، من الحيطة والحذر، أن تخفض عنصر الأمان.

مقالات ودوريات

(10) Encyclopedia Britannica's Science and the Future Yearbook 1990.

يتضمن هذا التقرير السنوى، ثمانى عشرة صفحة، بمثابة مقدمة للتكنولوجيا النانوية. مقتطفات من هذا التقرير يمكن الحصول عليها من معهد (فورسايت) (يوجد العنوان فى خاتمة الكتاب)

(11) "Computer Recreation" Scientific American ،Jan. 1988.

عمود يشرح الحواسيب الآلية الجزيئية.

(12) "The Invisible Factory." The Economist, Dec. 9, 1989.

مقدمة للتكنولوجيا النانوية، موجزة وواضحة وتتميز بالدقة التقنية.

(13) "Where the Next Fortunes will be Made." Fortune, Dec. 5. 1988.

تشتمل على مجادلة عن نتائج المعاملات التجارية للتكنولوجيا النانوية.

(14) Alcor Life Extension Foundation, 12327 Doherty Street ،Riverside, CA 92503; telephone (714)-736-1703.

(15) Science News is a weekly newsmagazine,

مجلة أخبار العلم science news الأسبوعية، تقوم بتبسيط العلوم للقارئ غير الفني. وتعد مرشدا جيدا (بالإضافة إلى أمور أخرى) لأحدث التطورات في المسار، إلى التكنولوجيا النانوية.

البيليوجرافيا التقنية

من المستحيل - هنا - عرض ببليوجرافيا كاملة للمطبوعات التي تتعلق بالتكنولوجيا النانوية. وسوف تقود، الكتب والنشرات والأبحاث والمقالات، القراء إلى بعض من الموضوعات ذات العلاقة، وتتوفر قائمة كاملة من معهد (فورسايت) (العنوان في خاتمة الكتاب).

(16) Degrado ،William F. ،Zelda R. Wasserman ،and James D. Lear، "protein Design ،a Minimalist Approach." science 243 (1989) 622-28.

يشرح العمل الناجح، فى مجال تصميم البروتينات.

(17) Drexler ،K. Eric. "Molecular Engineering: An Approach to the Development of General Capabilities for Molecular Manipulation." Proceedings of the National Academy of Sciences (USA) 78 (1981) 5275- 78.

أول شرح للتصنيع المرن الذى يعتمد على المعدات الآلية الجزيئية الاصطناعية

(18) Drexler ،K. Eric ،and John S. Foster. "Synthetic Tips" Nature 343 (1990).

يقترح المؤلفان، أسلوبًا لتشييد معالج جزيئى.

(19) Drexel ،K. "Molecular Tip Arrays For AFM Imaging and Nanofabri-Cation. Journal of Vacuum Science and technology B. April 1991.

أسلوب بديل لتحقيق الغايات التى شرحت فى "synthetic tips"، وتهدف إلى تفادى عدة مشاكل تقنية، وتحسين الأداء والمرونة والقابلية للتكيف.

(20) Feynman ،Richard. "There's Plenty of Room at the Bottom," a talk published in shorter form as "The Wonders that Await a Micro-microscope." Saturday Review 43 (April 2 ،1960) 45 - 47;

reproduced at greater length under its original title in Miniaturization ed. H. D. Gilbert New York: Reinhold ،1961.

هذه المحاضرة التنبؤية بمثابة مخططات أولية للنمنمة من أعلى إلى أسفل، وحتى مقياس المايكرو، وتوضح بجلاء المسار فى اتجاه التكنولوجيا النانوية.

(21) Foster ،J. S. ،J. E. Frommer ،and P. C. Arnett. "Molecular Manipulation Using a Tunnelling Microscope," Nature 331 (1988) 324- 26.

يشرح أول استخدام لمجهر المسح النفقى STM لربط الجزيئات بشىء كبير.

(22) Huse ،William D. et al. ،"Generation of a Large Combinatorial Library of the Immunoglobulin Repertoire in Phage Lambda." Science 246 (1989) 1275 - 81.

يصف طريقة لإنتاج جزيئات البروتين، التى تربط بروتينات أخرى محددة، بالاختيار من بين عدد كبير من شظايا الأجسام المضادة، دون استخدام خلايا الثدييات.

(23) Lehn ،Jean - Marie. "Supramolecular Chemistry - Scope and Perspectives: Molecules ،Supermolecules ،and Molecular Devices." Angewandte Chemie International Edition in English 27 (1988) 89 - 112. Described.

يشرح أساليب العمل فى التمييز الجزيئى (محاضرة المؤلف بمناسبة فوزه بجائزة نوبل).

(24) Ponder ،Jay W. ،and Frederic M. Richards. "Tertiary Templates for Proteins." Journal of Molecular Biology 193 (1987) 775-91.

تصف أساليب باستخدام الحاسوب، لاختيار تسلسل الحمض الأمينى المتناغم مع تركيب مطوى محدد.

الكتب

(25) Alberts ،Bruce ،et al. Molecular Biology of the Cell ،2nd ed. New York: Garland Publishing ،1989.

يشرح الآليات الجزيئية الطبيعية.

(26) Burkert ،Ulrich ،and Norma L. Allinger. Molecular Mechanics ،ACS Monograph 177 Washington ،D.C.: American Chemical Society، 1982.

نص كلاسيكى مميز عن تشكيل نمونجًا، بمصطلحات ميكانيكية، تعتمد على العلاقات بين الطاقة والهندسة الجزيئية.

(27) Clark ،Tim. A Handbook of Computational Chemistry ،New York: Wiley-Interscience ،1985.

يصف الكتاب استخدام الحاسوب فى النماذج الكلاسيكية (خاصة) النماذج الكمّية الميكانيكية للجزيئات.

(28) Crandall ،B. C. ،and James Lewis ،eds. Proceedings of the First Foresight Conference on Nanotechnology (working title). Cambridge، Mass.: MIT Press ،1991.)

وقائع المؤتمر الأول للتكنولوجيا النانوية بمعهد (فورسايت).

(29) Creighton ،Thomas E. Proteins. New York: W. H. Freeman ،1984.

مقدمة رائعة عن البروتينات كأشياء فيزيائية مادية.

(30) Drexler ،K. Eric. Molecular Nanotechnology: Molecular Machines and Manufacturing (working title ،book in progress as of 1991).

يقدم المبادئ الفيزيائية للآليات الجزيئية، بالإضافة إلى تحليل طقم من الأدوات الرئيسية.

(31) Huberman ،B. A. ed. The Ecology of Computation. Amsterdam: North-Holland/Elsevier Science Publishers ،1988.

تتضمن هذه المجموعة ثلاثة أبحاث لميلر ودريكسلر. يقدمان فيها اتجاهاً تسويقياً، لتنظيم عمليات تشغيل الحاسوب، على نطاق واسع.

(32) Maskill ،Howard. The Physical Basis of Organic Chemistry. Oxford، Eng.: Oxford University Press ،1985. This is an unusual ،useful textbook

هذا هو كتاب دراسى فريد ومفيد، يشرح كيميائية الجزيئات ذات الأصل الكربونى، من منظور الكيمياء الفيزيائية.

(33) Rigby ،Maurice ،et al. The Forces Between Molecules. Oxford ،Eng.: Clarendon Press ،1986. A good overview of its subject.

نظرة شاملة جيدة عن موضوع القوى بين الجزيئات.

وفى النهاية، لمن يعترض على محاولة تفسير التكنولوجيا النانوية للعامة، فى هذه المرحلة المبكرة، عليه الاطلاع على كتاب.

How Superstition Won and Science lost by John C. Bumham (New Brunswick، NJ: Rutgers ،1987).

حيث يشرح فيه المؤلف كيف أن العلماء قد تخلوا عن مسؤوليتهم فى هذا المجال، كما يعرض لبعض النتائج المترتبة على هذا.

شرائط التسجيل

يمكنك الحصول على شرائط التسجيل الصوتية والفيديو من مؤتمر (فورسايت) الأول عن التكنولوجيا النانوية، الذى عقد فى (بالو ألتو) بولاية كاليفورنيا الأمريكية، فى أكتوبر ١٩٨٩ . اتصل بمعهد (فورسايت) P.o.Box 61058 Palo AlTo, CA,94306,telephone (415) 324-2490

نشرة بحث استكشافى لبرنامج التكنولوجيا المتقدمة.

شرح الأبحاث الحالية موجود تفصيلياً فى "بحث استكشافى لبرامج التكنولوجيا المتقدمة" ERATO، ويمكن الحصول عليه من "شركة البحث المتطور" اليابانية.

5 - 2 Nagata - cho 2- chome, chiyoda - ku,Tokyo 100, Japan; fax 03-581-1486

للطلبة

انظر أيضاً قسم المزيد من القراءات، خاصة إصدارات معهد (فورسايت). وعادة تنشر التطورات الأساسية فى العلوم المؤهلة فى المجلات العلمية Nature، Science، وكلاهما يستحق أن تطلع عليه وتتصفحه أسبوعياً.

قائمة المصطلحات الفنية

فيما يلى قائمة ببعض التعبيرات والمصطلحات المستخدمة فى مناقشة وشرح التكنولوجيا النانوية والتكنولوجيات الأخرى المتوقعة أو المنتظرة.

المجمع	أداة عامة الأغراض للتصنيع الجزيئى قادرة على توجيه سير التفاعلات الكيميائية عن طريق ترتيب مواضع الجزيئات.	Assembler
ذرة	أصغر وحدة من العنصر الكيميائى، ويبلغ قطرها حوالى ثلث نانومتر. وتكوّن الذرات الجزيئات والأجسام الصلبة.	Atom
مِجهر القوى الذرية (مجهر المسح الذرى)	جهاز قادر على تصوير أسطح الأجسام إلى درجة إظهار الجزيئى المنفرد، وذلك بالسير الميكانيكى لمحيطها السطحى. وهو نوع من جهاز السبر التقاربى.	Atomic force microscope (AFM)
الهندسة الآلية	تصميم هندسى يتم بواسطة حاسوب، ويتكون من تصميمات تفصيلية يخلقها الحاسوب من واقع مواصفات مهمة، وبدون أى تدخل (أو تدخل طفيف جدًا) من البشر.	Automated engineering
التصنيع الآلى	كما فى هذا الكتاب، تصنيع بواسطة التكنولوجيا النانوية، وهو يتطلب عمالة بشرية قليلة.	Automated manufacturing
بكتيريا	كائنات دقيقة وحيدة الخلية، يبلغ طولها أو عرضها حوالى ميكرومتر واحد (أى ألف نانومتر).	Bacteria
تكنولوجيا كلية	تكنولوجيا يتم التعامل فيها مع مجموعة من الذرات والجزيئات معًا وليس مع كل ذرة أو جزىء على حدة.	Bulk technology
خلية	وحدة بنائية صغيرة، يُحيط بها غشاء، وتتكون منها الكائنات الحية.	Cell

Cell pharmacology	قيام أجهزة نانوية طبية بتوصيل الأدوية اللازمة للعلاج إلى أى أماكن فى الجسم بدقة.	علم أدوية الخلية
Cell surgery	تعديل تركيب الخلية بواسطة أجهزة نانوية طبية.	جراحة الخلية
Disassembler	جهاز قادر على فك أو إزالة تركيب ما، مثل بضع ذرات فى المرة الواحدة، مع تسجيل المعلومات البنيوية فى كل خطوة منها.	جهاز التفكيك
DNA	معلومة جينية تشكل شفرة الجزىء، توجد فى نواة الخلية.	دنا
Ecosystem protector	جهاز نانوى يقوم ميكانيكيا بالتخلص من سلالات دخيلة مختارة، من أى منظومة بيئية لحماية السلالات المتوطنة بها.	جهاز حماية البيئة
Enabling science and technology	مجالات البحث العلمى التى لها هدف مُحدد، مثل التكنولوجيا النانوية.	علم وتكنولوجيا تمكين
Enzymes	أجهزة جزيئية توجد فى الطبيعة، تتكون من بروتينات، يمكنها أن تسرِّع من التفاعلات الكيميائية.	إنزيمات
Exploratory engineering	تصميم وتحليل منظومات ممكنة من الناحية النظرية، لكن لا يمكن صنعها حاليًا، بسبب وجود قيود أو قصور فى الأدوات المتاحة.	هندسة استكشافية (استطلاعية)
Gray goo	انظر سيناريو المسلسل التلفازى "ستار تريك" (Star Trek).	جراى جو
Immune system	أجهزة جزيئية طبية تُصمم للاستخدام الداخلى، وخصوصًا فى مجارى الدم والجهاز الهضمى، وهو قادر على التعرف على الجسيمات الدخيلة وتدميرها، مثل البكتيريا والفيروسات.	الجهاز المناعى

مُجمِّع محدود	مُجمِّع قادر على صنع منتجات معيَّنة أسرع وبكفاءة أكبر وأقل قابلية لسوء الاستخدام من المجمعات عامة الاستخدامات.	Limited assembler
إلكترونيات جزيئية	أى جهاز ذو مكونات ذرية دقيقة تُقاس أبعادها بالنانومتر، خصوصًا إذا كانت مصنوعة من أجزاء جزيئية منفصلة، وليس من مواد متصلة كالموجودة فى أدوات أشباه الموصلات الحالية.	Molecular electronics
جهاز جزيئى	أى جهاز ذو مكونات ذرية دقيقة تُقاس أبعادها بالنانومتر، ويمكن استخدامها كأساس لوصف الأجهزة الجزيئية الموجودة فى الطبيعة.	Molecular machine
مُعالج جزيئى	أداة تتكون من آلية سبر تقاربية للتحديد الدقيق لمواضع الذرات ومن موقع ربط جزيئى بطرفها، ويمكن استخدامها كأساس لتكوين تركيبات معقَّدة بواسطة التخليق الموضعى.	Molecular manipulator
التصنيع الجزيئى	تصنيع بواسطة أجهزة جزيئية، تعمل على التحكم فى المنتجات والمنتجات الفرعية جزيئًا بعد آخر، عن طريق التخليق الكيميائى الموضعى.	Molecular manufacturing
الطب الجزيئى	تشكيلة من الأساليب والعلاجات الصيدلانية المستخدمة حاليًا.	Molecular medicine
التكنولوجيا النانوية الجزيئية	تحكم رخيص وتام فى تركيب المادة، يعتمد على التحكم فى المنتجات والمنتجات الفرعية جزيئًا بعد آخر، وكذا على منتجات التصنيع الجزيئى وعملياته، بما فى ذلك الأجهزة الجزيئية .	Molecular nanotechnology

التعرف الجزيئى	اصطلاح كيميائى يشير إلى عملية ما تلتصق فيها الجزيئات بطريقة محددة تمامًا، وذلك لتكوين كيان أكبر، وهذه تكنولوجيا مساعدة للتكنولوجيا النانوية.	Molecular recognition
الجراحة الجزيئية أو الإصلاح الجزيئى	تحليل وتصحيح فيزيائى للتركيب الجزيئى فى الجسم، يتم باستخدام أجهزة نانوية طبية.	Molecular surgery or molecular repair
هندسة المنظومات الجزيئية	تصميم وتحليل وتركيب منظومات ذات مكونات جزيئية، تعمل مع بعضها البعض لتحقيق غرض مفيد.	Molecular systems engineering
جزىء	مجموعة من الذرات ممسوكة ببعضها البعض بروابط كيميائية، وهى الوحدة النمطية التى تعنى بها التكنولوجيا النانوية.	Molecule
نانو	بادئة معناها جزء واحد من بليون (١.٠٠٠.٠٠٠.٠٠٠)	Nano-
حاسوب نانوى	حاسوب تُصنع أجزاؤه بمقاسات جزيئية.	Nanocomputer
إلكترونيات نانوية	أدوات إلكترونية تُصنع بمقاسات نانوية، سواء صُنعت بالتقنيات الحالية أو بالتكنولوجيا النانوية، وتشمل كل الإلكترونيات الجزيئية والأدوات النانوية التى تشبه أشباه الموصلات الحالية.	Nanoelectronics
جهاز نانوى	جهاز جزيئى صناعى من النوع الذى تنتجه وسائل التصنيع الجزيئى.	Nanomachine
التصنيع النانوى	هو التصنيع الجزيئى.	Nanomanufacturing
الجراحة النانوية	اصطلاح عام يعنى الإصلاحات الجزيئية وجراحات الخلايا.	Nanosurgery
التكنولوجيا النانوية	انظر التصنيع الجزيئى	Nanotechnology

التخليق الموضعى	التحكم فى التفاعلات الكيميائية، وذلك بالتحديد الدقيق لمواضع الجزيئات المتفاعلة، وهذه هى الفكرة الأساسية فى المجمعات.	Positional synthesis
تصميم البروتينات، هندسة البروتينات	تصميم وتركيب بروتينات جديدة، وهذه تكنولوجيا مساعدة للتكنولوجيا النانوية.	Protein design, Protein engineering
المجسات التقاربية	مجموعة من الأدوات القادرة على التحكم والتحسس الموضعى، ويشمل ذلك المجاهر التكنولوجيا الماسحة ومجاهر القوى الذرية، وهذه تكنولوجيا مساعدة للتكنولوجيا النانوية.	Proximal probes
الذاتى الاستنساخ	نظام قادر على إنتاج نسخة من نفسه عند توفر المواد الخام والطاقة له.	Replicator
ريبوسوم	جهاز جزيئى موجود طبيعيًا يقوم بصنع البروتينات طبقًا للتعليمات المستخدمة من جينات الخلية.	Ribosome
المجهر النفقى الماسح	جهاز قادر على تصوير الأسطح الموصلة بدقة تصل إلى حد تصوير الذرة منفردة، وتم استخدامه بالفعل فى تحديد أماكن الجزيئات بسطح ما.	Scanning tunneling microscope (STM)
مختبر المُجمعة المُحكمة	مُجمعة عامة الاستخدامات موضوعة داخل وعاء يسمح فقط بتبادل الطاقة والمعلومات مع البيئة المحيطة.	Sealed assembler lab
المواد والمنتجات الذكية	هى (فى هذا الكتاب) مواد ومنتجات قادرة على التصرف المعقد نسبيًا بسبب احتوائها على حواسيب نانوية وأجهزة نانوية. كما أنها تستخدم فى منتجات لها قدرة على الاستجابة للبيئة المحيطة بها.	Smart materials and products

سيناريو المسلسل التلفازى "ستار تريك"	يقوم شخص ما بصنع أدوات أو أجهزة ذاتية الاستنساخ وخطرة للغاية بحيث تنشر الخراب والدمار فى كل مكان.	Star trek scenario
منظومة الواقع الافتراضى	خليط من الحاسوب والأدوات المتصلة به (مثل نظارة وقفازات.. إلخ) تجعل المستخدم يعيش فى جو افتراضى ثلاثى الأبعاد توجد فيه أجسام يتعايش معها فى عالم الحاسوب فقط (وليس فى الواقع).	Virtual reality system
فيروس	طفيل (يتكون أساسًا من مادة جينية) يغزو الخلايا ويسيطر على آلياتها الجزيئية بهدف استنساخ نفسه.	Virus

المؤلفون فى سطور:

ك. إريك دريكسلر

هو مؤلف كتب علمية منها:

Nanosystemd: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation

وهو أول كتاب تعليمى عن تكنولوجيا النانو.

(كريس بيترسون وجايل برجاميت) كاتبان يحاولان شرح التكنولوجيات الجديدة للقراء، وكريس يقوم بذلك باعتباره مدير المؤسسة غير الربحية.

المترجم فى سطور:

رؤوف وصفى صبحى

- ولد فى القاهرة.
- عمل بالتدريس فى جامعات مصر والعراق والكويت.
- نال جائزة تبسيط العلوم - أكاديمية البحث العلمى والتكنولوجيا. وجائزة الثقافة العلمية - أكاديمية البحث العلمى والتكنولوجيا.
- عضو اتحاد الكتاب.
- عضو لجنة الثقافة العلمية - المجلس الأعلى للثقافة.
- ترجم العديد من الكتب العلمية، وفى مجال الخيال العلمى منها: "الروبوت" و"الحاسب الآلى" و"كوكب الأرض" و"مذنب هالى" (مؤسسة الكويت للتقدم العلمى) ومسرحيات من الخيال العلمى (وزارة الإعلام - الكويت). وقام بترجمة "ثلاث رؤى للمستقبل"، و"حرب العوالم" و"الرجل الخفى" للمركز القومى للترجمة، كذلك ترجمة مقالات علمية بمجلة الثقافة العالمية.
- شارك فى العديد من الندوات منها "ندوة الخيال العلمى" وقام بإعداد البرنامج التليفزيونى "سؤال وجواب" وتقديمه فى تليفزيون الكويت و"الخيال العلمى" (إذاعة الكويت).
- نشرت مقالاته وقصصه فى عدد كبير من الصحف والمجلات العربية، منها جريدة الأهرام وجريدة الأخبار ومجلة العلم (مصر)، ومجلة العربى الكويتية ومجلة "التقدم العلمى" مؤسسة الكويت للتقدم العلمى، ومجلة "دبى الثقافية" الإمارات.

- أحد رواد أدب الخيال العلمى والثقافة العلمية بالوطن العربى.
- المنسق العام لرابطة كتاب الخيال العلمى العرب.
- حاصل على شهادة تقدير من نقابة العلميين.

التصحيح اللغـوى: محمود مبروك
الإشـراف الفنـى: حسن كامل

يصف كتاب "استشراف المستقبل" التكنولوجيا النانوية والتصنيع الجزيئى بتعبيرات مبسطة، ويركز على بعض السيناريوهات المحتملة لنوع الحياة المتوقعة فى المستقبل القريب، عندما تصبح تلك التكنولوجيا ممكنة على نطاق واسع؛ إذ إنها سوف تحدث ثورة صناعية ثانية.

الفكرة الأساسية للكتاب هى أن الهندسة على المستوى النانوى والجزيئى سوف توفر لنا تحكمًا أدق وأرخص على المكونات الأساسية للمادة؛ مما يحقق تقدمًا لم يسبق له مثيل.

وعلى ذلك فمثلا يمكننا إنتاج رقائق من المادة سماكتها بضع نانوات (النانو جزء من ألف مليون "بليون" من المتر)، بحيث تكون فى قوة الماس. كما أن بمقدورنا صنع أجهزة فائقة الصغر، بحجم الميكروبات، لتفتيت وتدمير النفايات السامة (لتنظيف البيئة) وقتل الحشرات الضارة المسببة للأمراض، ويمكن حقن بعض الأدوات النانوية المبرمجة فى جسم الإنسان وتوجيهها، لكى تتجه إلى خلايا الجلد لإصلاح الجروح.

إن كُتَّاب "استشراف المستقبل" مهتمون إلى أبعد حد بالقضايا التنظيمية والاجتماعية المرتبطة بالتكنولوجيا النانوية. والمزايا مثل الإسكان والصحة والنقل سوف يكون من السهل توفيرها.

تصميم الغلاف: هانى الشناوى